

Katja Ranta

## **LIUKUVALURAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

# **LIUKUVALURAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

Katja Ranta  
Insinöörityö  
Kevät 2018  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, rakennesuunnittelu

---

Tekijä: Katja Ranta

Opinnäytetyön nimi: Liukuvalurakenteiden suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaajat: Antti Ukonmaanaho, Oulun ammattikorkeakoulu;

Harri Lopina, Pöyry Finland Oy; Reijo Pasma, Pöyry Finland Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 81 + 1 liitettä

---

Liukuvalutekniikka on betonointimenetelmä, jolla voidaan toteuttaa korkealaatuista saumatonta rakennetta nopeasti ja kustannustehokkaasti. Toiminta perustuu suhteellisen pieneen muottiin, jota täytetään betonilla ja liu`utetaan ylöspäin sitä mukaa, kun muotin alta paljastuva betoni on saavuttanut riittävän sitoutumisasteen. Liukuvalun työ- sekä muottitekniikalla on vaikutuksia rakenteiden suunnitteluun, joita tämä opinnäytetyö käsittelee.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia liukuvalurakenteiden suunnitteluohje Pöyryn rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Työssä perehdyttiin liukuvalutekniikkaan työmenetelmänä, suunniteltiin esimerkkikohteeseen toteutettavat liukuvalurakenteet sekä laadittiin suunnitteluohje saadun tiedon ja käytännön suunnittelukokemuksen perusteella.

Tiedon keräämisessä ja esimerkkikohteen suunnittelun lähtökohtana käytettiin standardeja, betoninormeja ja muuta alan kirjallisuutta sekä Pöyryn henkilöstön tietotaitoa. Lisäksi haastateltiin Terramare Oy:n projektipäällikköä Esa Kunnassaarta, jonka käytännön kokemuksen pohjalta saatiin tietoa rakenteen suunnitteluun vaikuttavista tekijöistä työmaan näkökulmasta. Esimerkkikohteen liukuvalurakenteiden mallintamisessa on käytetty Tekla structures 3D -mallinnusohjelmaa.

Opinnäytetyön edetessä voitiin todeta, että liukuvalutyö sekä muottitekniikka aiheuttavat useita rajoitteita sekä huomioitavia asioita, jotka rakennesuunnittelijan tulee tietää. Rakennesuunnittelijoiden käyttöön laaditun liukuvalurakenteiden suunnitteluohjeen avulla suunnittelutyö tehostuu, kun suunnittelun kannalta oleelliset asiat löytyvät kootusti yhdestä dokumentista. Ajansäästö lisää kustannustehokkuutta ja kilpailukykyä.

---

Asiasanat: Liukuvalutekniikka, betoni, rakenteiden suunnittelu, ohjeet

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Structural Engineering

---

Author: Katja Ranta

Title of thesis: Designing of Slip Forming

Supervisors: Antti Ukonmaanaho, Oulu University of Applied Sciences;  
Harri Lopina, Pöyry Finland Ltd; Reijo Pasma, Pöyry Finland Ltd

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 81 + 1 appendix

---

This thesis was assigned by Pöyry Finland Ltd's structural engineering department. The main focus of this thesis was to create design instructions for slip forming and to collect all relevant information about this technique into one document.

In slip forming, concrete is poured to a form which is moving continuously. With this technique there is a possibility to make tall structures without hardly any joints. There is plenty of information about the cast in-site structures and some of the norms and standards are the same as in slip forming. However there are several differences between these construction methods, which are needed to take into account when it is decided whether slip forming is usable to this particular project or not.

All the necessary information for this thesis and research there were collected and combined from literary, interviews, concrete norms and standards. Some design suggestions and details, which came from Pöyry's professionals and from Terramare Inc.'s Project Manager Esa Kunnassaari were used also. Terramare is using slip forming as one construction method in their projects.

As a result for this thesis design instructions for structural engineers were done to get the relevant data about slip forming from one document. By reading this thesis, designers should find information about from slip forming easily and what should be taken into consideration when slip forming designing work is done.

---

Keywords: Slip forming, concrete, structural design, work instructions

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 LIUKUVALUTEKNIIKAN YLEISKUVAUS	9
2.1 Liukuvalutyön turvallisuus	10
2.2 Liukuvalutyön kustannukset	10
2.3 Liukuvalun historia	11
2.4 Teollisuuden liukuvalukohteita Suomessa	12
2.5 Muita liukuvalukohteita	19
3 LIUKUVALUMENETELMÄN VALINTA	22
3.1 Liukuvalutekniikan vaatimukset	22
3.2 Liukuvalutekniikan mahdollisuudet	23
4 MUOTTIJÄRJESTELMÄ	25
4.1 Liukuvalukalusto	25
4.1.1 Muotti	26
4.1.2 Nostokoneisto	28
4.1.3 Telineet	31
4.2 Kiinteä liukuvalumuotti	32
4.3 Erikoismuotit	33
5 BETONI JA SEN LAATUVAATIMUKSET LIUKUVALUSSA	36
5.1 Sementti	37
5.2 Runkoaine	37
5.3 Seosaineet	38
5.4 Lisäaineet	39
6 LIUKUVALURAKENTEEN RAUDOITUS	40
6.1 Raudoituksen suunnittelu	40
6.2 Raudoitustyö	41
6.3 Tartunnat, varaukset ja liittyvät rakenteet	43
7 LIUKUVALUTYÖ	47
7.1 Liukuvalutyön aloitus	48

7.2 Betonointityö	49
7.3 Nosto, liu`un ohjaus ja mittaukset	53
7.4 Rakenteiden toleranssit	56
7.5 Työsauman toteutus	57
7.6 Jälkihoito ja suojaus	58
7.7 Betonointityön valvonta	59
7.8 Talvibetonointi	60
7.9 Liukuvalutyön lopetus	61
8 NOSTOTORNIN LIUKUVALURAKENTEIDEN SUUNNITTELU	63
8.1 Liukuvalutekniikan valinta	64
8.2 Suunnitteluperusteet	65
8.3 Nostotornin raudoituksen suunnittelu	67
8.4 Aukot ja paikalliset vahvistukset	73
8.5 Työsauma	73
8.6 Kiinnityslevyt	75
8.7 Raudoituksen 3D-mallintaminen	76
9 YHTEENVETO	78
LÄHTEET	79
LIITTEET	
Liite 1. Liukuvalurakenteiden suunnitteluohje	

# 1 JOHDANTO

Betonirakenteet voidaan valmistaa paikallavaluna työmaalla tai rakentamalla etukäteen valmistetuista betonin valmisosista, eli betonielementeistä. Liukuvalu-tekniikka on yksi betonin paikallavalun erikoismenetelmä, joka on ollut käytössä yli sata vuotta ympäri maailmaa. Suomessa on liukuvalettu jo useita kymmeniä vuosia.

Insinööritöiden tavoitteena on luoda rakennesuunnittelijoiden työtä helpottava liukuvalurakenteiden suunnitteluohje, joka on toteutettu standardien ja normien mukaisesti. Suunnitteluohjetta sekä opinnäytetyön teoriaosuutta hyödynnetään esimerkkikohteeseen, joka on erään kaivoksen malmin nostoon suunniteltava nostotorni.

Opinnäytetyön teoriaosuuteen on tarkoitus koota rakennesuunnittelijoille tietoa liukuvaluprosessista, sen toteuttamisesta käytännön tasolla, tarvittavista suunnitelmista ja valumenetelmän vaikutuksista liukuvalurakenteiden suunnitteluun. Suunnitteluohjeen luomisessa on hyödynnetty alan kirjallisuutta, Pöyryn henkilöstön tietotaitoa ja asiantuntijahaastattelun pohjalta saatua tietoa työmaan näkökulmasta.

Tässä insinööritöissä käytetään esimerkkikohteena asiakkaalle suunniteltavaa 105 metriä korkeaa nostotornia, jonka seinistä 65 metrin osuus tullaan toteuttamaan liukuvaluna. Suunnittelutyössä laaditaan liukuvalusuunnitelma, joka sisältää raudoitus suunnitelman ja mallidetaljeja, joissa esitetään perusratkaisut liukuvaluseinien, aukkojen, varauksien, liittyvien rakenteiden ja liitoksien toteutuksesta. Suunnittelun edetessä tullaan tietoisiksi liukuvalurakenteen suunnittelun yksityiskohdista ja pystytään havainnoimaan mahdollisia eteen tulevia haasteita, onnistumisia, huomioitavia asioita ja liukuvalurakenteiden 3D-mallintamiseen liittyviä seikkoja. Pääasiallisena suunnittelutyökaluna käytetään Tekla Structures -ohjelmistoa, jonka avulla toteutetaan esimerkkikohteen rakenteiden 3D-mallintaminen, raudoitus ja piirustukset.

Liukuvalulla voidaan toteuttaa betonirakenteita vaaka- ja pystysuuntaisesti. Tämä opinnäytetyö on rajattu käsittelemään pystysuuntaan toteutettavia valuja,

koska vaaka- ja pystysuuntaiset valut poikkeavat niin tekniikaltaan kuin työsuorituksen osilta paljon toisistaan.

Työn tilaajana toimi Pöyry Finland Oy. Pöyry on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyritys, jonka toiminta on keskittynyt energia-, teollisuus- ja infratoimialojen hankkeisiin. Pöyryllä on Suomessa 1 500 työntekijää lähes kahdellakymmenellä eri paikkakunnalla ja maailmanlaajuisesti noin 5 500 asiantuntijaa.

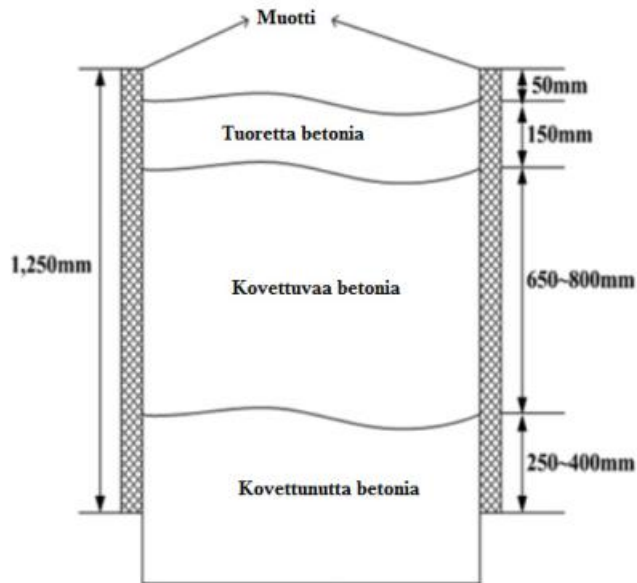


## 2 LIUKUVALUTEKNIIKAN YLEISKUVAUS

Liukuvalu on betonirakentamisessa käytetty tekniikka, joka perustuu hydraulisesti liikutettavan muotin käyttöön ja betonin valamiseen kerroksittain. Se on nopein pystysuuntaisten rakenteiden valumenetelmä ja sitä käytetään yleensä suurten rakennusten, kuten siilojen, savupiippujen, porrastornien, vesitornien ja teollisuusrakennuksien rakentamisessa. (1, s. 5; 2, s. 424, 428; 3 s. 3.)

Liukuvalussa betoni valetaan muottiin siten, että muotin siirtyessä ylöspäin alimmat kerrokset ovat saavuttaneet riittävän lujuuden kestääkseen rakentamiseen kohdistuvat rasitukset paljastuessaan muotista. Muotin alta paljastuvan betonin tulee kuitenkin olla vielä riittävän työstettävä, jotta sille voidaan tehdä suunnitelmien mukainen jälkihoito ja pintakäsittely. Muottia nostetaan tasaisesti, riittävällä nopeudella ylöspäin betonin kovettuessa ja täytetään valun edetessä tuoreella betonilla. Betonointi tapahtuu noin 200 – 250 mm:n tasaisina kerroksina. Tuoretta betonimassaa tiivistetään sauvatäryttimillä huolellisesti siten, että sauvan pää ulottuu ainoastaan viimeksi valettuun kerrokseen asti. (2, s. 431; 3, s. 2; 4, s. 151.)

Liukuvalumenetelmä on kehitetty jo yli sata vuotta sitten. Siitä lähtien sen toimintaperiaate on pysynyt samana, mutta valujärjestelmät, kuten muotit, nosturit ja betoninkuljetustavat ovat kehittyneet ajan saatossa. Lisäksi betonimassoja on kehitetty jatkuvasti tehonotkistimien ja lisäaineiden avulla tavoitteena nopeuttaa liukuvalua betonin saavuttaessa riittävän lujuuden huomattavasti nopeammin. Oikein toteutettuna liukuvalu on tavallisella paikallavalumuotilla tehtyyn valuun verrattuna nopeampi ja edullisempi valumenetelmä suurissa kohteissa. Kuva liukuvalumuotin toiminta periaatteesta on esitelty kuvassa 1. (5, s. 15.)



KUVA 1. Liukuvalumuotti valun aikana (5, s. 13)

## 2.1 Liukuvalutyön turvallisuus

Työturvallisuuden näkökulmasta liukuvalutyöhön liittyvät samat työturvallisuusriskit ja noudatettavat lainalaisuudet kuin normaaleja paikallavalurakenteita valottaessa. Työnsuorittajalta edellytetään aina työturvallisuussuunnitelmaa, mikä sisältää mm. telineet, nostolaitteet, nostotapahtumat, putoamissuojaukset ja suojavyöhykealueen määrittelyn. (6; 7.)

Suunnittelijan tulee huomioida suunnitelmissaan tilavaatimukset muotti- ja teline rakenteille sekä nostokalustolle. (7.)

## 2.2 Liukuvalutyön kustannukset

Liukuvalutyön kustannukset muodostuvat muottijärjestelmästä, muotin nostosta, raudoituksesta, betonoinnista ja jälkitöistä. Liukuvalumuottiin ja sen tukirakenteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta pysytään asetetuissa mittatoleransseissa ja näin vältetään turhilta korjauskustannuksilta. (1, s. 15 – 16.)

Liukuvalutyössä betonin hukka voi muodostua suureksi kulueräksi, jos muotti antaa kovin paljon periksi. Kustannuksiin lasketaan mukaan yli- ja yötyökorva-

uksista aiheutuvat henkilöstökustannukset sekä asemalla että kuljetuksissa. (1, s.15 – 16.)

Terästen hukka aiheutuu suurimmaksi osaksi jatkospituuksista, jotka ovat merkittävässä osassa liukuvalurakenteen raudoitusta. Jälkitöiden aiheuttamat kustannukset saattavat muodostua myös yllättävän kalliiksi. Näistä yleisimpiä tapauksia ovat pinnan heikkolaatu, vesitiiviin betonin halkeamat ja vuodot, puuttuvat varaukset tai niiden väärät paikat ja mittavirheet. (1, s.15 – 16.)

### **2.3 Liukuvalun historia**

Liukumuottitekniikka kehitettiin 1900-luvun alussa, jolloin sitä käytettiin pääsääntöisesti viljasiilojen rakentamiseen. Liukuvalutekniikan kehittäjänä ja edelläkävijänä pidetään edesmennyttä James MacDonaldia, joka omisti rakennusyrityksen nimeltään MacDonald Engineering of Chicago. (8.)

Vuonna 1910 hän julkaisi artikkelin ”Moving Forms for Reinforced Concrete Storage bins”, jossa hän kuvailee jatkuvan ja saumattoman betonirakenteen toteuttamista tunkeilla liikutettavaa muottia käyttäen. Kyseinen artikkeli sisältää myös yksityiskohtaista tietoa konseptista ja menetelmästä liukuvalettavien rakenteiden luomiseksi. Toukokuussa vuonna 1917 James MacDonaldille myönnettiin patentti hänen ideansa mukaisesta liukuvalumuotista. (8.)

Vuosina 1947 - 1950 MacDonald engineering rakensi liukuvalumenetelmää hyödyntäen yli neljäkymmentä betonirakenteista tornia kaikkialle Yhdysvaltoihin ja hänen yrityksensä käytti patentin mukaista mallia aina 1970-luvun lopulle saakka. (8.)

Suomessa liukuvalurakenteita on toteutettu tiettävästi 50-luvulta lähtien. Insinööritoimisto Pöysälä & Sanbergilla 1970- ja 1980-luvuilla rakennuttajapäällikkönä työskennelleen Markku Koskisen mukaan alan pioneerina toimi rakennusliike Helekorpi, jolla oli liukuvalun muotti- ja nostokalusto käytössään. Seuraavaksi liukuvalu-urakoinnit aloitti Interbetoni Oy, jonka muotti- ja nostokaluston asiantuntijana oli tuolloin rakennusmestari Toivo Kässi, joka oli myös yksi By 120 liukuvalutekniikka-teoksen kirjoittajista. (9.)

## 2.4 Teollisuuden liukuvalukohteita Suomessa

Valtion viljavarasto ja sen suunnittelijana toiminut insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg aloittivat 1970-luvun puolivälissä laajan yhteistyön. Valtion viljavaraston varmuusvarastointikapasiteetti päätettiin kaksinkertaistaa rakentamalla siemenviljavarastoja sekä vienti- ja tuontivarastoja satamiin. Varmuusvarastoja varten kehitettiin uusi suursiilostotyyppi 12 metrin halkaisijalla ja neliömäinen piensiilostotyyppi siemenviljoille. Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg toimi rakennuttajakonsulttina ja suunnitteli siilot. Urakoitsijoina toimivat Vesto, YIT, Vesiseppä ja Rakennus Saharinen. Seuraavassa esitetään tällä konseptilla ympäri Suomea valmistuneita Valtion viljavaraston liukuvalettuja siilostoja:

- Naantalin siilosto v.1959 (kuva 2)
- Periniön siilosto v.1978
- Kouvolaan suursiilosto v.1979
- Loimaalle siemenviljasiilosto v. 1980 ja suursiilosto v.1980
- Nokian suursiilosto v.1980
- Tampereen suursiilosto v.1981
- Seinäjoen suursiilosto v.1981
- Turengein suursiilosto v.1982
- Hämeenlinnan siilosto v.1984
- Mustion siilosto v. 1963
- Rauman sataman siilosto v. 1982 (kuva 3)
- Loviisan satamasiilo v.1985 (kuva 4). (9; 10.)



*KUVA 2. Naantalin siilot valmistuivat vuonna 1959. Sitä on laajennettu vuonna 1970 sekä vuonna 1982 siitä rakennettiin Suomen suurin siilosto. Naantalista tuli Valtion viljavaraston merkittävin tuonti- ja vientisatama (11)*



*KUVA 3. Rauman siilot, jonka ensimmäinen vaihe rakennettiin vuonna 1982 ja laajennus tehtiin vuonna 1985 (11)*



*KUVA 4. Loviisan siilot (12)*

Runsaan siilorakentamisesta saadun kokemuksen ja vankan osaamisen pohjalta saatiin tilaisuus suunnitella myös ulkomaanvientikohteita, joita olivat Jemennin, Saudi-arabian Wadi Al-Dawasiriin (kuva 5) sekä Tabukiin vuonna 1986 ja Tallinnan satamaan vuonna 1986 rakennetut siilot (kuva 6). (29.)



*KUVA 5. Viljasiilot Wadi Al-Dawasir, Saudi-Arabia (11)*





*KUVA 6. Tallinnan uuden sataman viljan varastointi- ja käsittelylaitos (11)*

Muita esimerkkejä Pöysälä & Sandbergin suunnittelemista liukuvalulla toteutetuista teollisuusrakennuskohteista ovat

- Kemi Oy, 1950- luvun loppupuolella rakennettu, noin 60 metriä korkea Götawerkin (GV) soodakattilarakennus
- Neste Oy, Porvoon tuotantolaitoksen piiput (kuva 7)
- Rautaruukki Oyj, Raahen Koksaamon hiilitorni- ja annostelulaitoksen hiilisiilot sekä savupiippu (kuva 8)
- Outokumpu Oy, Tornion terästehtaan Rap 5-tuotantolinjan porrastornit (kuva 9). (9.)



*KUVA 7. Neste Oy, Porvoon tuotantolaitosten piiput (11)*



*KUVA 8. Rautaruukki Oyj, Raahen koksaamo (11)*





*KUVA 9. Outokumpu Oy Tornio, Rap 5-porrastornit (11)*

Metsä Group on toteuttanut Äänekoskelle biotuotetehtaan vuosina 2015–2017, joka on Suomen historian suurin metsäteollisuuden investointi. Se on arvoltaan noin 1,2 miljardia euroa. Terramare Oy, joka on kehittänyt liukuvalutekniikan hyödyntämistä määrätietoisesti, on tehnyt kyseiseen kohteeseen savupiipun perustuksen, liukuvalun ja terästasot vuosina 2015–2016. (13.)

Kyseiselle tehdasalueelle on tehty liukuvalulla 120 metriä korkea halkaisijaltaan 12,4 metrinen piippu, josta on tullut Äänekoskelle näyttävä maamerkki (kuva 10). Muita korkeita liukuvalulla toteutettuja piippuja Suomessa ovat 150-metrinen piippu Vaasan Vaskiluodossa, 146,6-metrinen Pietarsaaren paperitehtaan piippu ja 146,3-metrinen piippu Joutsenon sellutehtaassa. (13.)



*KUVA 10. Äänekosken biotehtaan piippu (14)*



*KUVA 11. Äänekosken biotuotetehtaan piipun valua 11 metrin korkeudessa (15)*

## 2.5 Muita liukuvalukohteita

Vuonna 1958 valmistettiin liukuvaluna 68,5 metriä korkea linkkitorni Salpausselän harjulle Erkylään. Erkylän linkkitorni (kuva 12) oli yksi yleisradion tärkeimmistä linkkitorneista, kun säännölliset televisiolähetykset alkoivat Suomessa 1959. (16.)



*KUVA 12. Erkylän linkkitorni (16)*

Arkkitehti Aarne Ervin suunnittelema Espoossa sijaitseva Mäntytorni (kuva 13) on ensimmäinen Suomessa liukuvalumenetelmällä toteutettu asuinrakennus. Rakennus on 11-kerroksinen ja 31 metriä korkea kerrostalo, joka valmistui vuonna 1954. Betonirunko valettiin kymmenessä vuorokaudessa syyskuussa 1953. (17.)





*KUVA 13. Mäntytorni (17)*

Kuopion ylpeys, Puijon torni, on valettu liukuvaluna vuonna 1963. Torni on 75 metriä korkea ja valmistuessaan Pohjoismaiden ensimmäinen pyörivällä ravintolalla varustettu näköalatorni. Tornin (kuva 14) on suunnitellut arkkitehti Seppo Ruotsalainen. Rakennesuunnittelun on tehnyt insinööritoimisto Pöysälä & Sandbergille myöhemmin toimitusjohtajaksi tullut Hannu Wäänänen. (7; 18.)



*KUVA 14. Puijon torni (18)*

Tampereella Näsijärven rannalla sijaitseva 168 metriä korkea Näsinneula (kuva 15) on valettu liukuvalumenetelmällä vuosina 1970 - 1971. Urakoitsijana toimi Tampereen Haka. Vuonna 1970 Näsinneula valittiin Vuoden betonirakenteeksi. Näsinneula on myös Pohjoismaiden toiseksi korkein näköalatorni Tukholman Kaknästornin jälkeen. (19.)



*KUVA 15. Näsinneula (20)*

### **3 LIUKUVALUMENETELMÄN VALINTA**

Ratkaisevassa osassa valumenetelmän valinnassa on suunnittelijan asiantuntemus liukuvalumenetelmän teknisiin ja taloudellisiin mahdollisuuksiin ja vaatimuksiin. Lisäksi menetelmän valinta tulisi tapahtua mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta välttyään ongelmilta muun muassa aikataulun suhteen. Vaikka itse rakenne syntyy nopeasti, on huomioitava, että liukuvalutyön valmistelu vie enemmän aikaa kuin normaali tasaisesti etenevä työ. (1, s. 5 – 6, 12.)

Liukuvalumenetelmällä voidaan periaatteessa valmistaa kaikki betonirakenteet, joiden poikkileikkaus ei muutu ylöspäin merkittävästi. Pyöreille rakenteille on kuitenkin kehitetty muottisysteemejä, jotka sallivat säteen ja seinänpaksuuden muutoksen tietyissä rajoissa. Rakenteelle asetetaan kuitenkin tietynlaisia edellytyksiä, jotta kyseisellä tekniikalla rakenteiden valmistuksesta tulee taloudellisesti kannattavaa. (1, s. 5 – 6.)

Tavanomaisia kohteita, joita Suomessa on jo vuosikymmenet totuttu tekemään liukuvalutekniikalla ovat esimerkiksi siilorakenteet, savupiiput, tornit, pilarit, porras- ja hissikuilut sekä muut poikkileikkaukseltaan vakiot, korkeat rakenteet. (1, s. 5 – 6.)

#### **3.1 Liukuvalutekniikan vaatimukset**

Liukuvalutekniikka asettaa erilaisia valu- ja muottitekniikasta aiheutuvia teknisiä ja myös taloudellisia rajoitteita. On tavanomaista, että liukuvalu valitaan taloudellisen edun vuoksi. Valutyön kustannuksia arvioitaessa on kuitenkin syytä ottaa huomioon muutamia seikkoja, jotta voidaan saavuttaa liukuvalun mahdollistavat hyödyt. (1, s. 1.)

Liukuvalu vaatii erikoiskaluston, alan erikoisosaamista sekä ammattimiehiä asennus- ja nostotyöhön. Rakenteen muodon suunnittelussa on otettava huomioon liukuvalumuotin tekniset ominaisuudet, jotta rakenteen toteuttaminen liukuvalumenetelmällä on mahdollista. Mikäli on tarve toteuttaa täysin saumatonta rakennetta, liukuvalutyö suunnitellaan toteutettavaksi 3-vuorotyönä, joka toisaalta nostaa henkilöstökuluja. (1, s. 5.)

Liukuvalumuotin nousunopeuden tulisi olla vähintään 3 m/vrk, koska liian hidas valunopeus voi aiheuttaa halkeilua ja repeilyä valmistuvan rakenteen pintaan. Asiantuntijalausannon mukaan valunopeus on tyypillisesti 3,5 – 5 metriä vuorokaudessa. (1, s. 1; 6.)

Rakenteiden paksuuksille on asetettu tietyt vähimmäismitat, jotka eivät vielä edellytä erityisjärjestelyjä muottityön suhteen. Liukuvalettavan pilarin sivumitta tulee olla vähintään 300 mm:ä eikä halkeiluvaaran vuoksi ole suotavaa valaa alle 150 mm:ä paksua seinää, mutta myös ohuempia seiniä on liukuvalettu onnistuneesti. Tätä ohuempia seiniä valettaessa liukuvalumuottia nostetaan eri aikaan seinän vastakkaisilla puolilla, minkä seurauksena kitkan määrä saadaan puolitettua. (1, s. 1.)

Betonin raudoituksen, aukkojen, varauksien ja liittyvien rakenteiden suunnittelu sekä toteutus asettavat omat vaatimuksensa, joita käsitellään tarkemmin luvussa 6.3. Liukuvaletut rakenteet sijaitsevat yleensä melko haastavissa ympäristöolosuhteissa. Tämän vuoksi betonointityön lisäksi myös liukuvalettavalle betonille on suhteellisen korkeat vaatimukset muun muassa lujuuden ja pakkasen kestävyys suhteen. (1, s.1, 3, 10; 6.)

### **3.2 Liukuvalutekniikan mahdollisuudet**

Tekniikaltaan liukuvalu on menetelmänä luotettava ja usein ainoa varteen otettava toteutustapa, kun rakenne on poikkeuksellisen korkea. Liukuvalutekniikalla on mahdollista tuottaa yhtenäistä, saumatonta rakennetta nopeasti ja taloudellisesti verrattuna tavanomaisiin paikallavalumenetelmiin. (21, s. 190.)

Liukuvalutekniikan kilpailukyky perustuu alhaisiin muottikustannuksiin ja ajan sekä materiaalien säästöön. Liukuvalumuotilla voidaan valaa myös täysin saumatonta rakennetta, mikäli työtä tehdään ympäri vuorokauden. Tämän ansioista saadaan tarvittaessa valmistettua vesi- ja kaasutiiviitä betonirakenteita. Liukuvalutyötä edeltää huolellinen suunnittelu ja tarkka valvonta työn edetessä, mistä johtuen saadaan yleensä aikaan tavallista paikallavalubetonointia viimeistellympi lopputulos. Liukuvalutekniikkaa käytetäänkin rakenteiden valuun, joille on asetettu korkeat ulkonäkö- ja laatuvaatimukset. (6; 22, s. 473.)

Pyöreiden rakenteiden valamista varten on kehitetty supistuvia muottisysteemejä, joiden avulla voidaan toteuttaa hydraulisesti säteen- ja seinän paksuuden muutoksia tietyissä rajoissa. Säteen muutos voi olla noin 2 - 2,5-kertainen ja seinän paksuus voi muuttua 100 - 200 mm seinän kallistus huomioiden. Suurin säteenmuutoksen aiheuttama ongelma on valun sisäpinnan riittävän siisti lopputulos. (1, s. 11.)

Supistuvat erikoismuotit vaativat tavanomaista muottia korkeamman rakenteen, jotta muottikustannukset eivät kasva kohtuuttoman suuriksi. Esimerkiksi savupiipuissa noin 100 - 200 metriä korkea rakenne on taloudellinen ja vesitorneissa noin 25 - 30 metriä, riippuen rakenteen muodosta. Näitä viitearvoja huomattavasti matalammankin rakenteen toteuttaminen liukuvaluna voi olla taloudellisesti kannattavaa, mikäli kohde on laaja tai kohteessa on useita poikkileikkaukseltaan samanlaisia rakenteita, joissa voidaan hyödyntää samaa muottia. (1, s. 6, 11.)

Suomessa liukuvaluja pystytään tekemään myös talviolosuhteissa ja valuja onkin toteutettu jopa -20 °C pakkasissa. Luonnollisesti työ tulee haastavammaksi ja kustannukset nousevat talvibetonointia tehdessä, mutta näin on myös tavallisissa paikallavaluissa. Talvibetonoinnin yleisiä periaatteita noudatetaan myös liukuvalussa, kuten riittävän lämpimän betonimassa käyttö. Betonimassan tulee olla jopa +20 °C muottiin sullottuna. Betonin suojaus sekä lämmitys tulee varmistaa, kunnes betoni on saavuttanut jäätymislujuuden. (1, s. 3.)

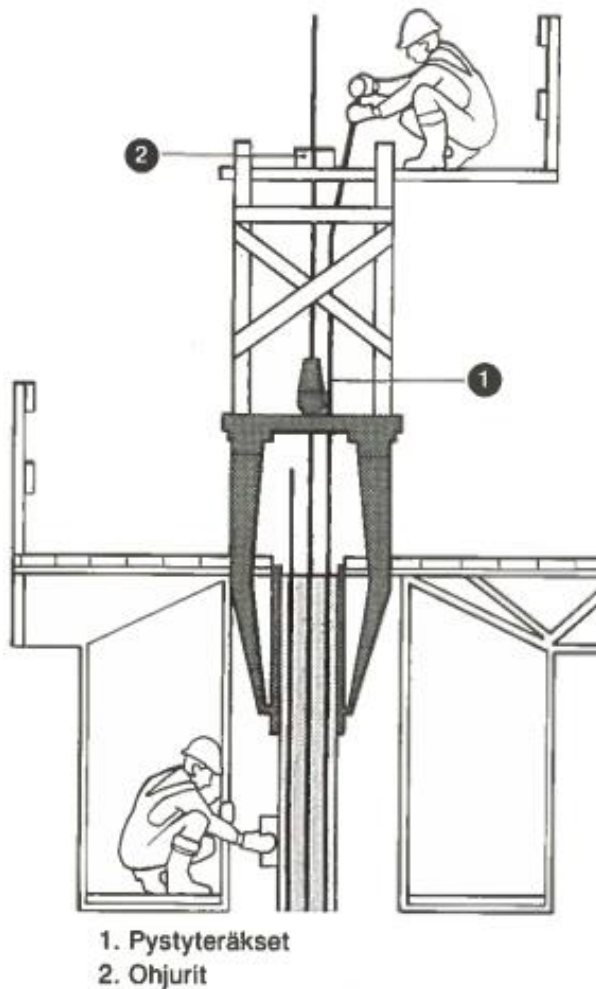
Liukuvalu on menetelmänä moniulotteinen ja useat vaatimukset eivät ole esteenä toteuttaa rakennetta liukuvaluna, vaan ainoastaan asioita, jotka tulee ottaa rakennetta ja toteutusta suunniteltaessa huomioon. Virheet korostuvat erityisesti tehdessä liukuvalua sen jatkuvan etenemisen vuoksi ja tässä korostuu huolellisen valvonnan ja suunnittelun merkitys, jotta liukuvalulla päästään tavoiteltuun lopputulokseen. (1, s. 16.)



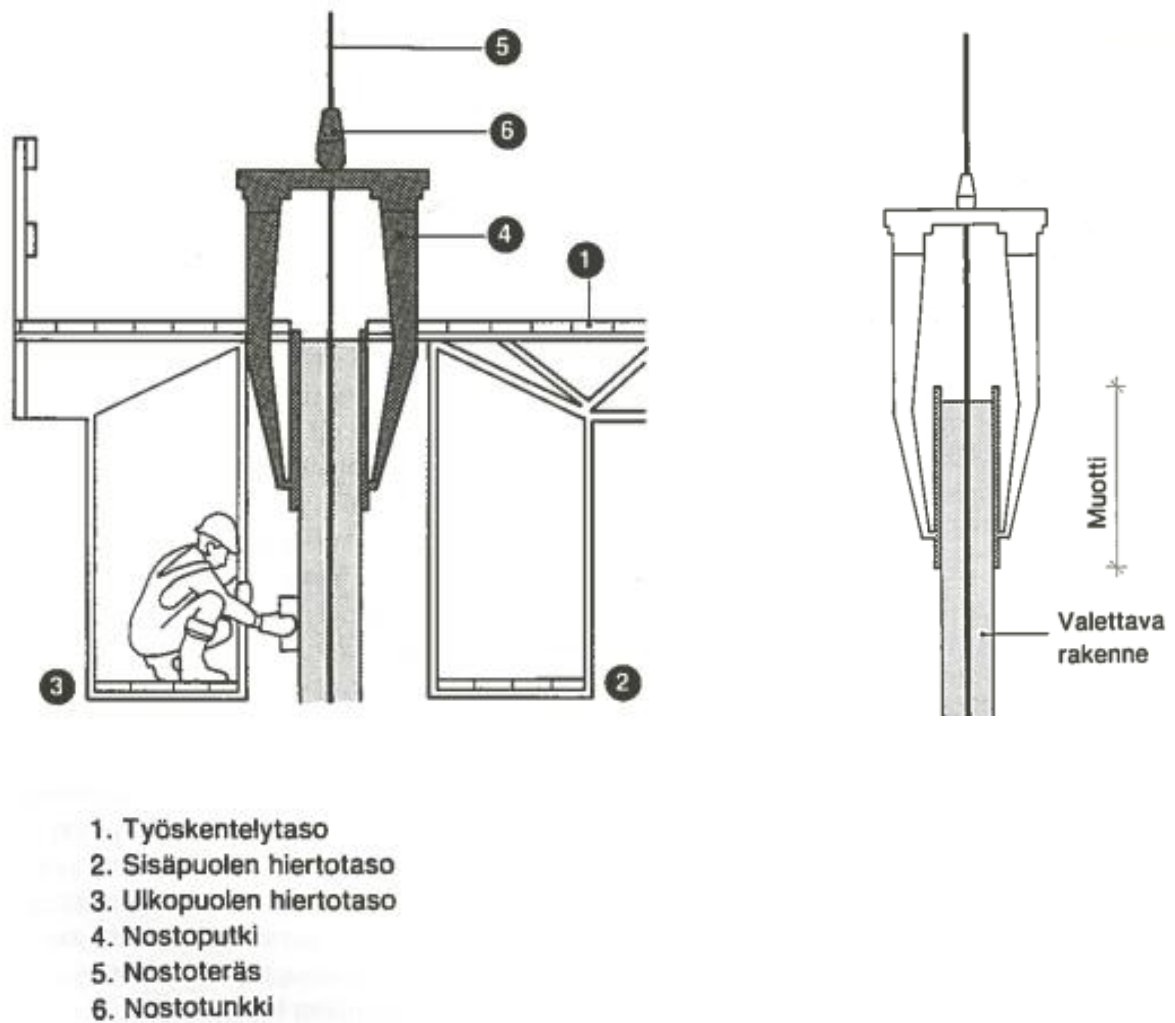
## 4 MUOTTIJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Liukuvalukalusto

Liukuvalukalustoa on useita erilaisia riippuen betonoitavasta kohteesta, sen muodosta, pinnalle asetetuista vaatimuksista ja siitä tehdäänkö samanlaisia rakenteita yksi vai useampia. Kaluston pääkomponentteihin kuuluvat aina muotti, nostokoneisto ja telineet. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty liukuvalukaluston pääperiaate. (2, s. 426; 22, s. 474.)



KUVA 16. Liukuvalukaluston periaate, yläosa (23, s. 143)



Kuva 17. Liukuvalukaluston periaate, alaosa (23, s. 142)

#### 4.1.1 Muotti

Tavanomaisimmat liukuvalumuotit ovat yleensä rakennettu puusta poikkileikkaukseltaan kiinteitä rakenteita varten. Teräksisiä, valmisosista koottuja säädettäviä muotteja, käytetään vain erikoistapauksissa. Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi poikkileikkauksiltaan muuttuviin rakenteisiin. Erikoismuotit tulevat yleensä kysymykseen silloin, kun rakenteessa on poikkeava muoto, sijainti, rauditus, seinän paksuus tai mukana nostettava kuorma. (1, s. 9 – 11.)

Muotti sidotaan kiinni nostopukkeihin, jotka on sijoitettu yleensä noin 1 500 – 2 000 mm:n välein. Nostopukkeihin on asennettu hydraulipumput, jotka nostotankoja pitkin liukuen nostavat muottia. (4, s. 149.)

Muotin korkeus on tavallisesti 1 200 mm, mutta haasteellisissa kohteissa tai olosuhteissa tästä voidaan joutua poikkeamaan. Lyhennettyä muottia, jonka korkeus on 1 000 mm, on käytetty usein suurissa valuissa hiertotyön helpottamiseksi, kun on ollut kesäaika tai muotin nousunopeuden on oletettu jäävän pieneksi. 1 400 - 1 500 mm korkeita muotteja on käytetty esimerkiksi pienissä töissä muotin nousunopeuden lisäämiseksi talviaikaan. Muotti rakennetaan yleensä valmiiksi valupaikalla kohteen tarpeiden ja vaatimusten mukaiseksi. Muotti koostuu perusosista, jotka ovat muottipinta, muottisoljet ja jäykisteet. (1, s. 9 - 11; 22.)

Muotin pinta on valmistettu puusta, vanerista tai teräksestä. Suomessa yleisimmin käytetty materiaali on ohuella teräspellillä päällystetty ponttilauta. Teräslevy taivutetaan muotin yläreunan yli ja kiinnitetään huolellisesti riittävän kauas muotin yläreunaan. (2, s. 426; 7, s. 474 – 475; 6.)

Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että hyvin korkeissa rakenteissa vaneria ei tulisi käyttää muotin pintana. Vanerin kerroksittainen rakenne alkaa kulua ja vanerin puuviilujen välinen liimaus alkaa antaa periksi liu`un edetessä. Hyvin korkeissa valuissa suositellaan käyttämään tavallista ”karvalautaa”, jonka pinta on pellitetty. (7.)

Jos muotin pintana käytetään pelkkää puuta, tulee sen höylätty pinta sijoittaa betoniin päin ja liu`un parantamiseksi muotipintojen väliä levennettävä alaspäin mentäessä. Puun materiaalina suositellaan käyttämään mäntyä parhaan liu`un saavuttamiseksi. Muottipinta täytyy kastella hyvin ennen betonoinnin aloittamista tai käsitellä öljyllä, jos valettava rakenne on alle 200 mm:n vahvuinen. (2, s. 426 – 427.)

Muotin pintana oleva puu pellitetään, jos valetaan hyvin ohuita seiniä tai muuten kriittisiä paikkoja, joissa poikkeuksellisen hyvä liuku on onnistuneen työn edellytys. Myös betonin koostumus voi olla sellainen, että teräspinnan avulla joudutaan estämään muottipinnan kuluminen. (2, s. 426 - 427; 22, s. 474.)

Muottisoljet, joita kutsutaan myös muottikehiksi, toimivat vaakajäykisteinä yhdessä työlavarakenteiden kanssa. Soljet on valmistettu tavallisimmin kahdesta

lankusta tai teräksestä, joiden koko riippuu muotin tarvitsemasta vaakatuella.  
(2, s. 426 - 427; 22, s. 474.)

Lankut asetetaan päällekkäin ja liitetään toisiinsa pulleilla tai puunsitojalevyillä. Muottisolki on kehän ylä- ja alapuolella yleensä kaksi kappaletta. Tarvittaessa vaakajäykistykseen voidaan käyttää lisäksi veto- tai puristustankoja. Pitkissä suorissa seinissä muottikehiä voidaan joutua vahvistamaan teräspalkeilla tai vaaka-asentoon asennettavilla ansailla. (2, s. 426 - 427; 22, s. 474.)

Pystyjäykistykseen muodostaa liukumuotin nostopukki ja erikseen asetettavat vinojäykisteet. Jäykistykseen tarkoituksena on siirtää muottikitka sekä muottikehiä rasittavat työlavakuormat nostopukeille. (2, s. 426 - 427; 22, s. 474.)

Muottisuunnitelmaa varten urakoitsijan tulee selvittää tai huomioida seuraavat asiat:

- muotin rakenteen mitoitus
- liukuvalunostureiden sijoitus muottiin
- muotin osat, kasaus ja purku
- muotti- ja työlavarakenteiden tuenta
- muotin paino
- kulkuyhteyksien toimintakelpoisuus
- muotin tukeutuminen valettuun rakenteeseen sekä työlavaan (24, s.103 – 104).

#### **4.1.2 Nostokoneisto**

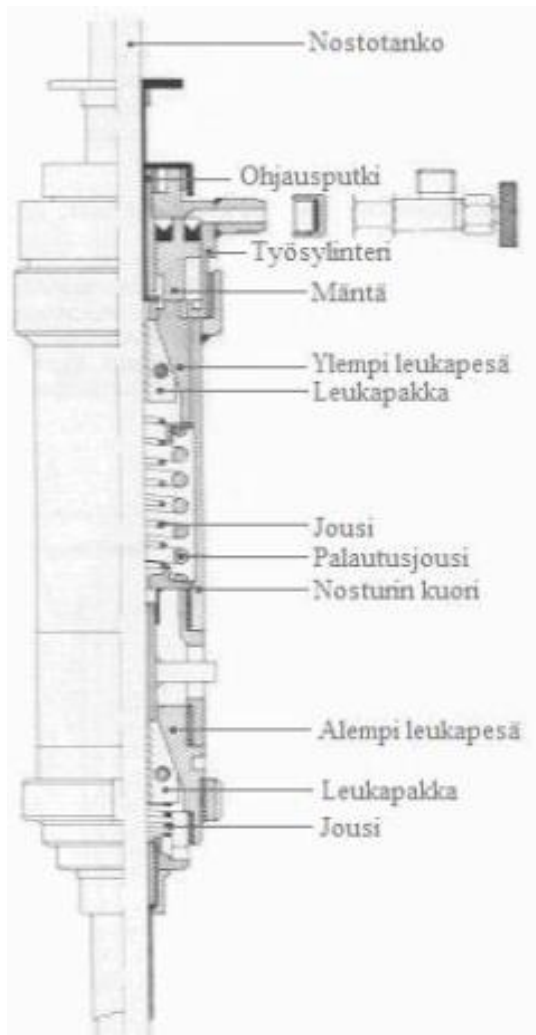
Liukumuottia nostettaessa tarvitaan kymmenien, jopa satojen tonnien nostovoima. Näin ollen kysymykseen tulee ainoastaan nykyisin käytetty hydraulikalla toimiva nostokoneisto. Nostolaitteistoon kuuluvat osat ovat nostopukki, nostotanko, hydrauliset nostotunkit ja hydraulipumppu. (25, s. 308.)

Nostopukki koostuu sivutuista ja selkälevyistä. Niiden välisen kulman pitää olla riittävän kestävä, ettei muotti leviäisi betonin aiheuttaman paineen takia. Nostopukin tehtävänä on kannatella muottia, erottaa muottipinnat toisistaan sekä siirtää muotin aiheuttamat ja siihen vaikuttavat kuormat nostotunkeille. (2, s. 427.)

Nostotanko on pääsääntöisesti halkaisijaltaan 25 mm:n tai 32 mm:n pyöröterästä. Koko muottikalusto lepää nostotankojen varassa ja kalustoa nostetaan tankoja pitkin ylöspäin. Nostotangot sijaitsevat muotin sisäpuolella. Ennen nostoteräksien on jätetty valettavan betonin sisään, mutta tänä päivänä nostotanko on halkaisijaltaan nostotankoa suuremman suojaputken sisällä, mikä mahdollistaa nostoterästen pois nostamisen rakenteesta työn päätyttyä. (2, s. 428; 4, s. 149.)

Jossain tapauksissa nostotankojen kohdat saattavat lähteä halkeilemaan, joka saadaan estettyä sijoittamalla valun aikana s-siteitä nostotankojen molemmin puolin. Nostotankojen nurjahtamisvaara tulee huomioida aukkojen ja varausten kohdalla sekä suunnitella niille tarvittava tuenta. (1, s. 14; 2, s. 428.)

Hydraulisten nostotunkkien (kuva 18) tarkoitus on kiivetä teräksisiä nostotankoja pitkin. Suomessa yleisimmin käytetyn nostotunkin kapasiteetti on 60 kN, mutta saatavilla on myös 30,120 tai 220 kN kapasiteetin omaavia tunkkeja. Nostotunkkien sijoitus on suunniteltava siten, että kaikille nostotunkeille jakautuu yhtä suuri kuormitus, joka aiheutuu pääasiassa muottirakenteiden ja työlavojen painosta sekä muotin ja betonin välisestä kitkasta. (2, s. 428; 25, s. 312.)



KUVA 18. Nostotunkin rakenne (2, s. 428)

Nostotunkit ovat varustettu yleensä kahdella kiilalla, joita kutsutaan tartuntaeliksi. Niiden toimintaperiaatteen mukaan hydraulikkaöljynpaine siirtää toista ja samanaikaisesti puristaa toisen tartuntaelimen kiinni nostotankoon. Hydraulikkapaineen laskiessa syntyy alipaine ja tunkit kiinnittyvät paikoilleen tartuntaelimen muodon ansiosta. Yleisesti käytössä olevat nostotunkit toimivat vertikaalisesti vain yhteen suuntaan. Tällöin rakennuksen saavuttaessa tavoitekorkeutensa joudutaan muotti siirtämään alas nosturin avulla. (2, s. 428.)

Hydraulipumppu (kuva 19) antaa nostovoiman liukuvalumuotin nostamiseksi ja se mitoitetaan nostotunkkien tarvitseman nostovoiman mukaan, joka voi olla jopa tuhansia kilonewtoneita. Suurissa kohteissa saatetaan tarvita useampiakin pumppuja. Pumppu voidaan käynnistää käsin tai ajastimen avulla, jolloin nostot tapahtuvat ennalta suunnitellun aikataulun mukaisesti. (2, s. 428; 22, s. 475.)



*KUVA 19. Muotin hydraulinen nostopumppu (2, s. 428)*

#### **4.1.3 Telineet**

Valun aikaiset työt suoritetaan työlavalta, jota kutsutaan myös liukumuottitelineeksi. Se sijaitsee muotin yläreunan korkeudella, joko ulko- tai sisäpuolella. Lavan rakenne on aina tuettava muotin yläkehän varaan ja pienissä muoteissa sen kannattajina toimii yleensä tavallinen koolaus. Suurilla jänneväleillä lava on kuitenkin tuettava puu- tai teräspalkkeihin tai ansaisiin. (2, s. 428; 22, s. 475.)

Työlavan alle rakennetaan siihen tuetut riipputelineet betonipinnan jälkikäsittelyä, verhousta, eristystä ja muuta lisätyötä varten. Lavalla joudutaan usein varastoimaan liu`un aikana tarvittavia tavaroita, kuten raudotteita, jotka täytyy huomioida työskentelykuorman ja oman painon lisäksi työlavaa mitoitettaessa. (2, s. 428; 22, s. 475.)

Työlavasuunnitelmassa urakoitsijan tulee huomioida seuraavat asiat:

- työlavalle kohdistuvat rastitukset
- kulkuteitä, kaiteita ja portaita koskevat työsuojelun määräykset
- lavan suunnittelu siten, ettei se vaikeuta muotin ohjausta (24, s. 105).

## 4.2 Kiinteä liukuvalumuotti

Tavanomaisella liukuvalumuotilla tarkoitetaan kiinteää liukuvalumuottia, joka pyritään valitsemaan jo suunnitteluvaiheessa sillä saavutettavan varman lopputuloksen ja yksinkertaisen toteutuksen vuoksi. Kiinteän liukuvalumuotin korkeus on tavallisesti 1 200 mm. Muotti voi olla minkä muotoinen tahansa ja sen rakenteen materiaali on yleensä puuta. Pintamateriaalina käytetään nykypäivänä tavallisesti pellitettyä lautta. Taloudellinen kannattavuusraja kiinteällä liukuvalumuotilla on noin 20 metriä, mutta huomattavasti matalampienkin rakenteiden valaminen voi olla kannattavaa, mikäli kohteessa on useita poikkileikkauksiltaan samanlaisia rakenteita ja samaa muottia voidaan kierrättää. Kiinteä liukuvalumuotti onkin yleisimmin käytetty muotti liukuvaluja tehdessä. (1, s. 9; 2, s. 426; 3, s. 12; 6.)

Kiinteällä liukuvalumuotilla pystytään valamaan betonointisuuntaan nähden muuttumattoman poikkileikkauksen omaavia rakenteita. Tavalliseen paikallavalumuottiin verrattuna liukumuotin tulee olla huomattavasti jäykempi, koska pienilläkin muutoksilla muotin rakenteessa voi olla suuret seuraukset liukuvalun lopputuloksen kannalta. Toisin sanoen, muotti ei saa antaa periksi siihen kohdistuvien rasitusten seurauksena. (2, s. 426; 3, s. 9; 25, s. 307.)

Muottikehät on valmistettu joko puusta tai muototeräksestä. Suorissa seinissä muottikehinä käytetään kaksinkertaista 50 - 62 mm x 125 - 200 mm lankuista rakennuttua kehää. Kaarevat kehät valmistetaan puolestaan 50 - 62 mm x 150 - 200 mm lankuista. (2, s. 426.)

Muottiin tehdään päästö, jotta betoni ei jäisi kiinni muottiin ja liuku sujuisi helpommin. Päästön avulla suoritetaan myös muotin irtiajo työsaumojen kohdilla ja valutyön lopetuksessa. Päästö toteutetaan kiinnittämällä 2 – 3 mm:n paksuiset vanerisuikaleet yläkehän ja muottipinnan väliin. Näin ollen saadaan aikaan 4 - 6 mm:n päästö ja betonoitavan seinän nimellispaksuus on tällöin muotin alakehien kohdalla. (2, s. 429; 25, s. 307.)



### 4.3 Erikoismuotit

Tavanomaisesta liukuvalumuotista (ks. luku 4.2) joudutaan yleensä poikkeamaan silloin, kun rakenteessa ei ole normaali muoto, sijainti, raudoitus, seinän paksuus tai mukana nostettava kuorma. Tällöin joudutaan suunnittelemaan kuhunkin käyttötarkoitukseen soveltuvia muotin erikoissovellutuksia, joista on seuraavaksi mainittu muutamia esimerkkejä. (1, s. 9 – 10.)

Liukuvalettavan rakenteen pystyleikkauksessa esiintyvät suuret muodonmuutokset voidaan hoitaa tukemalla nostotangot tai tekemällä muotti sellaiseksi, että ei tarvita nostopukkeja lainkaan. Tämän seurauksena ei myöskään nostotangoille ole tarvetta. Matalissa rakenteissa voidaan tunkki sijoittaa ylös tukitorniin ja vetää muotti ylös. Rakenteen poikkileikkauksen muodonmuutoksen aiheuttamat haasteet voidaan ratkaista kiinnittämällä muottiin kavennuskasetti, joka voidaan myös tarvittaessa irrottaa. (1, s. 9 – 10.)

Liukuvalettavan rakenteen läheisyydessä voi olla muita rakennuksia siten, ettei normaali muotti mahdu uuden ja olemassa olevan rakenteen väliin. Lisärakennuksia tai laajennuksia tehdessä voidaan joutua valamaan myös vanhaa rakennetta vasten. Kyseisissä tapauksissa käytetään toispuoleista muottia, joka tuetaan olemassa olevaan rakennukseen. (1, s. 9 – 10.)

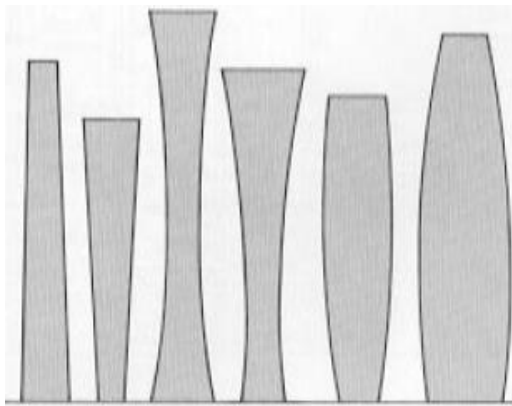
Liukuvalumuottien pukkijako on tavanomaisesti 1 000 – 1 200 mm. Tästä voidaan joutua poikkeamaan aukkojen sijainnin tai poikkeuksellisen haasteellisesti toteutettavan raudoituksen vuoksi. Näissä tapauksissa muodostuu ongelmaksi nostotankojen tuenta, joka voidaan hoitaa ottamalla nostotangot muotin ulkopuolelle, vetää niitä ylhäältä käsin tukitornista tai tukea jollain vaihtoehtoisella tavalla nurjahdusta vastaan. (1, s. 9 – 10.)

Liukuvalun yhteydessä voidaan yleensä nostaa suuriakin kuormia, koska liukuvalutunkeissa on yleensä käyttämätöntä kapasiteettia noin 50 %. Valitsemalla suuremmat tunkit tai lisäämällä erikoistunkkeja voidaan liukujen yhteydessä nostaa satoja tonneja ja sen avulla välttää turhat telinetyöt. (1, s. 9 – 10.)

## Svetho

Aikaisemmin liukuvalutekniikan rajoitteena on ollut se, ettei ole pystytty toteuttamaan rakenteita, joiden poikkileikkaus muuttuu vertikaalisessa suunnassa portaattomasti. Suomessa yleistä on toteuttaa seinän paksuuden muutokset muottikaseteilla, jolloin rakenteeseen jää pykälä muutoskohtaan. (6; 21, s. 191.)

Tässä tapahtui muutos 1970-luvulla, kun unkarilaisten ja ruotsalaisten yhteistyön lopputuloksena kehitettiin Svetho-järjestelmä, mikä mahdollistaa portaattomasti muuttuvan rakenteen poikkileikkauksen tai seinämän paksuuden muutokset. Alkuperäisessä käytössään Svethon avulla pystyttiin toteuttamaan ainoastaan pyöreitä poikkileikkauksia. Viime vuosina tästä on kuitenkin poikettu ja on voitu todeta, että Svetholla pystytään valamaan monimuotoisempiakin rakenteita, joista esimerkkejä on esitelty kuvassa 20. (3, s. 191; 8, s. 12.)



*KUVA 20. Esimerkkejä Svetho-järjestelmällä toteutettavista poikkileikkauksista (24, s. 107)*

Svetho-järjestelmän avulla toteutettavan rakenteen muodonmuutoksen ainoana edellytyksenä on, että se voidaan esittää matemaattisesti. Näissä puitteissa rakennesuunnittelija voi valita betonirakenteen sivuprofiilin nojautuen rakenteellisiin ja taloudellisiin perusteluihin. Esimerkiksi korkeissa torneissa on ulkonäkökysymysten lisäksi ylöspäin suippenevan muodon ansiosta keventää rakennusta, mikä johtaa ainakin materiaalikustannusten pienenemiseen. Ensimmäinen Suomessa Svetho-järjestelmällä valmistettu rakenne on Tampereen Näsinneulan betonikuori. (3, s. 13; 21, s. 191.)

Svetho-järjestelmän rakenne ja toimintatapa mahdollistavat suurta tarkkuutta vaativien liukuvalutöiden suorittamisen. Nosto- sekä runkorakenteen säätöjärjestelmä toimivat hydraulisesti ja niitä pystytään ohjaamaan synkronisesti siten, että liikkeet tapahtuvat pysty- ja vaakasuuntiin samanaikaisesti. (21, s. 191.)

Järjestelmässä on automaattisesti ohjelmoitu toiminta, jonka avulla poikkileikkausvaihtelu saadaan toimimaan siten, että rakenteen geometrinen muoto pysyy suunnitelmien mukaisena koko valun ajan. Laitteistoon kuuluu myös säteittäinen teräslanka- tai teräspalkkijärjestelmä, joka varmistaa säteeltään jatkuvas-  
ti muuttuvan rakenteen mittatarkkuuden. (21, s. 191.)

## 5 BETONI JA SEN LAATUVAATIMUKSET LIUKUVALUSSA

Onnistuneen liukuvalubetonin tärkeimpinä tekijöinä ovat oikea vesi-sementtisuhde, eri sementtilaatujen toimivuus, notkistimien ja huokoistimien käyttö sekä seosaineiden vaikutukset. Tämä tarkoittaa sitä, että betonimassan on pysyttävä koossa, mutta toisaalta sen on oltava riittävän työstettävää täydellisen tiivistyksen aikaansaamiseksi ja saavuttaa suunnitelmien mukainen lujuus tietyssä iässä. Toisaalta betonimassan tulee myös kyetä ottamaan vastaan ulkoisten muodonmuutosten sekä sisäisten liikkeiden aiheuttamat voimat, joka edellyttää massalta plastisuutta tarvittavan ajan. (2, s. 430 – 431; 3, s. 20.)

Ajatellaan, että liukumuottibetonointiin voidaan käyttää normaalisti suhteitettua betonia, mutta rakenteellisten syiden vuoksi sille kuitenkin asetetaan usein suhteellisen korkeita vaatimuksia lujuuden ja pohjoisissa oloissa pakkasen kestävyys suhteen. Kylminä vuodenaikoina betonin tulisi olla yli +20 °C vielä muottiin valettunakin. Betonin koostumus ja osa-aineet on valittava ottaen huomioon valumenetelmä ja liukuvalun työsuoritusmenetelmä siten, että betonimassa ja kovettunut betoni täyttävät niille määritellyt vaatimukset. (1, s. 3; 2, s. 430 – 431.)

Yhtenä tärkeimpänä liukuvalubetonoinnin onnistumisen edellytyksenä pidetään betonin sitoutumisastetta sen paljastuessa muotin alta. Sitoutumisastetta määritetään penetrometrillä. Sen toiminta perustuu tunkeumavastuksen mittaamiseen, joka saadaan tietyn läpimitan omaavaa sauvaa betoniin työnnettäessä. Suomessa tätä menetelmää käytetään useimmiten betonin tärytysrajan ja sitoutumisajan päättymisen määrittämiseen. Todellisuudessa penetrometrin (kuva 21) käyttö on vähäistä, koska liukuvalua tekevät ovat alan ammattilaisia ja heillä on vuosien käytännön kokemus betonin sitoutumisasteen arvioinnista. (2, s. 430 – 431.)



*KUVA 21. Penetrometri betonin tunkeumavastuksen mittaamiseen (22)*

Ensimmäisen noston jälkeen betonin sitoutumisasteen tulisi olla suositusten mukaan  $0,2 - 0,7 \text{ N/mm}^2$ , mutta korkeintaan  $3,4 \text{ N/mm}^2$ .  $3,4 \text{ N/mm}^2$  suurempi sitoutumisaste vaikeuttaa liukua, koska massa alkaa tarttua kiinni muottiin. Tästä seuraa valun epäonnistuminen, joka saattaa johtaa muun muassa rakenteen halkeiluun ja kalliisiin korjauskustannuksiin. Puristuslujuus muotin alta paljastuvalla betonilla on välillä  $0 - 0,2 \text{ MN/m}^2$ . (2, s. 430 – 431.)

## **5.1 Sementti**

Normaaliolosuhteissa liukuvalun betonimassassa käytetään tavallista portlandsementtiä, jota tulisi olla betonimassasta vähintään  $300 \text{ kg/m}^3$ . Poikkeavissa lämpötiloissa, kuten kuumina kesäpäivinä, voidaan siirtyä käyttämään niin sanottua alhaislämpösementtiä lämmönkehityksen alentamiseksi. Kylmissä lämpötiloissa on suositeltavaa käyttää rapidsementtiä, joka edistää betonimassan lämpimänä pysymistä ja sen ansioista lujuuden kehitystä. (3, s. 22.)

## **5.2 Runkoaine**

Runkoaineena voidaan käyttää joko pyöristynyttä luonnonsoraa tai mursketta. Runkoaineen tilavuus betonimassasta on  $65 - 80 \%$ . Hienoainesta, jonka tehtävänä on muottikitkan vähentäminen, tulisi olla noin  $38 - 48 \%$  runkoaineesta. Runkoaineen muodosta ja valettavasta rakenteesta riippuen määritetään runkoaineelle maksimiraekoko, joka on tyypillisesti  $16 \text{ mm}$ . (3, s. 21; 22, s. 17 – 18.)

Suositteluna määränä hienoainesta, sementtiä ja alle  $25 \text{ mm}$  raekoon runkoainesta betonimassassa pidetään  $350 - 500 \text{ kg/m}^3$ . Jotta liukuvalubetonilla tulisi olemaan sen tarvitsema hyvä työstettävyys ja viimeistely sekä tehokas hydra-

taatio, täytyy runkoaineen lajittelu tehdä huolellisesti. Mikäli massa on liian karkeaa eli sisältää liian vähän hienoaainesta, vesi alkaa erottua massasta ja liika hienoaaines aiheuttaa myös betonimassan painumista. (3, s. 21.)

### 5.3 Seosaineet

Seosaineita käytetään korvaamaan sementtiä ja lisäämään betonilta toivottuja ominaisuuksia. Liukuvalubetonissa käytettäviä seosaineita ovat masuunikuona, lentotuhka ja silika eli piioksidijauhe. Nämä edellä mainitut seosaineet ovat poz-zolaajena eli ne reagoivat sementin hydraatituotteiden kanssa kasvattaen betonin kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä. (22, s. 43.)

Lentotuhka erotetaan savukaasuista, joita syntyy kivihiilen polttamisessa. Lentotuhkaa käytetään betonimassassa sementtiä korvaavana ainesosana, koska se on edullisempaa ja kasvattaa betonin myöhäisiän lujuutta. Talvibetonoinnissa lentotuhkaa ei suositella käyttämään, koska se hidastaa betonin lujuuden kehitystä. (5, s. 29; 22, s. 43.)

Silika on erittäin hienojakoista amorfista piioksidia. Sitä saadaan erottamalla piiraudan valmistuksen yhteydessä syntyvistä savukaasuista. Se on yleisin liukuvalubetonissa käytettävistä seosaineista. Silikan käyttö lisää huomattavasti betonin lujuutta ja kemiallista kestävyyttä sekä sen avulla on mahdollista valmistaa myös korkealujuusbetoneja, jotka voivat saavuttaa jopa 70 – 100 MPa puristuslujuuden. Silikan käyttöä liukuvalubetonissa on toisaalta tarkkaan valvottava ja rajattava sen määrä korkeintaan 5 %:iin sementin painosta, koska silika tekee massasta kittimäistä ja vaikeasti työstettävää. Sillä on myös massaa värjäävä ominaisuus, joka liiallisissa määrin muodostuu ongelmaksi liukuvalurakenteissa. (5, s. 30.)

Masuunikuonajauhe on jauhettua granuloitua masuunikuonaa. Masuunikuonan etuna on, että se kehittää lujuutta lähes yhtä paljon, kuin sementtiklinkkeri, mutta sen reaktiot betonissa tuottavat vähemmän lämpöä kuin sementin aiheuttama reaktio. Näin ollen siitä on hyötyä massiivisten betonirakenteiden valussa. Lisäksi se kasvattaa betonin kestävyyttä haastavissa olosuhteissa, kuten kloridi- ja sulfaattikorroosiota vastaan. (5, s. 31; 22, s. 44.)

## 5.4 Lisäaineet

Betonoinnissa käytettäviksi lisäaineiksi luetaan notkistimet ja huokostimet. Notkistimien tarkoituksena on parantaa massan työstettävyyttä, vähentää veden tarvetta, hidastaa betonin sitoutumista ja lisätä huokoisuutta pitkällä sekoitusajoilla. Sitä lisätään massaan tarpeen mukaan, mutta sen määräksi tulee yleensä noin 0,4 - 2,0 % suhteessa sidosaineisiin. Notkeusluokka pyritään saamaan aikaiseksi notkistimen oikealla annostelulla. Notkistimen annostelua kuhunkin rakennuskohteeseen joudutaan miettimään tietysti valun ja työstettävyyden kannalta, mutta muita huomioon otettavia asioita on betonimassan siirto, pumppaus ja mahdolliset odotusajat. Tosiasia on, että oikea annostelu on usein kompromissi otettaessa huomioon kaikki tekijät. (5, s. 28; 22, s. 48.)

Huokostimia käytetään yleensä betoneissa, joilta vaaditaan pakkasenkestävyyttä. Pakkasenkestävyys ei ole pelkästään kylmyydestä aiheutuva rasitus, vaan myös toistuvan kosteuden, jäätymisen ja sulamisen aiheuttama kuormitus. Huokostimen avulla betoniin muodostuu massan sekoituksen aikana hyvin pieniä pysyviä ilmahuokosia. Näiden huokosten tarkoituksena on estää halkeamien eteneminen, joita kylmissä olosuhteissa veden jäätyminen ja sulaminen usein aiheuttaa. (5, s. 29; 22, s. 49.)

Huokostimen määrä on yleensä 0,010 - 0,050 % sidosaineen massasta. Betontehtaalla huokoistimen annostelu on hyvä tehdä alakanttiin, koska pitkät sekoitus- ja kuljetusajat voivat lisätä massan huokoisuutta ja huokoistaminen laskee betonin lujuutta yleensä noin 5 %. Säänkestävän betonin suositeltu ilmamäärä on noin 5 - 7 % betonimassasta. (5, s. 29.)

## 6 LIUKUVALURAKENTTEEN RAUDOITUS

### 6.1 Raudoituksen suunnittelu

Liukuvalurakenteen raudoitusta suunniteltaessa on useita seikkoja, jotka poikkeavat tavallisen paikallavalurakenteen raudoituksen suunnittelusta. Esimerkkinä mainittakoon liukuvalumuotti, joka asettaa omat tekniset vaatimuksensa terästen pituuksien suhteen ja telineillä olevan tilan rajallisuus, joka asettaa omat haasteensa terästen käsittelylle. (1, s. 2; 24, s. 101.)

Pääteräkset sijoitetaan rakenteen, esimerkiksi seinän, ulko- ja sisäpintaan. Ohuemmissa rakenteissa on syytä tihentää raudoitusta, jotta betoni ei lähtisi nousemaan muotin mukana. Yleisimmissä tapauksissa vaaka- ja pystyterästen jatkospituudet määräytyvät teräksen paksuuden, betonilaadun sekä teräksen ja betonin välisen tartunnan perusteella ja ne lasketaan tapauskohtaisesti eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti. (2, s. 432; 24, s. 101; 26, s. 138.)

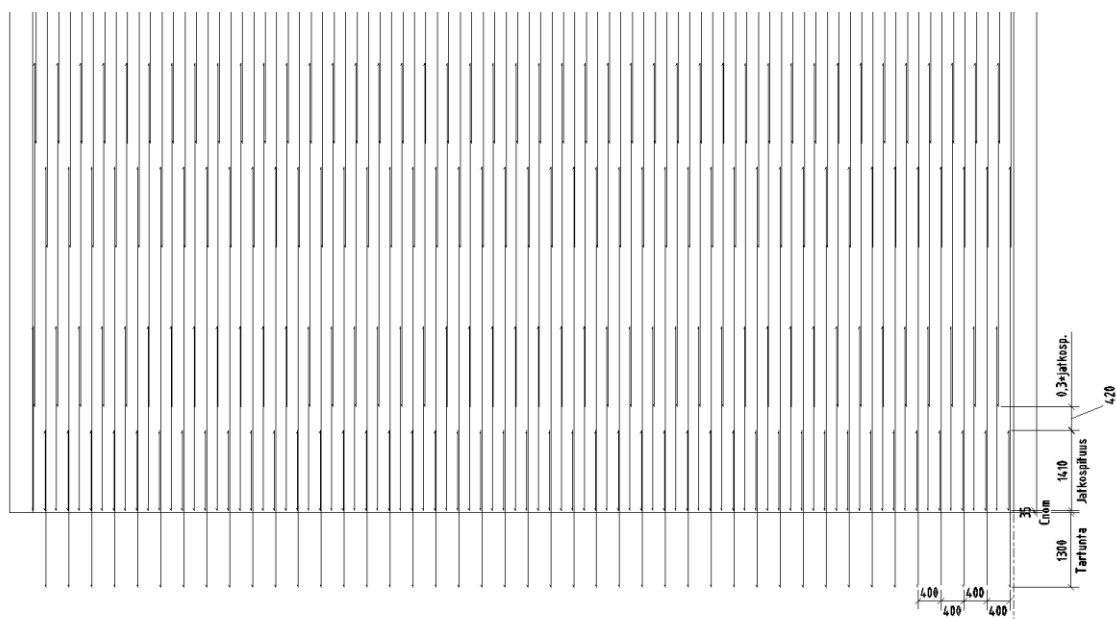
Terästen asennusteknisistä syistä vaakateräkset tulee sijoittaa uloimmiksi. Vaakateräkset joudutaan pujottamaan nostopukkien selkälevyjen alle, joten niiden pituutta on rajoitettu siten, että seinän pituuden ollessa yli 4 metriä teräs voi olla korkeintaan puolet seinän pituudesta. Työsauman jälkeen vaakaraudoitus on suunniteltava tihennettäväksi siten, että ensimmäinen teräs sijoitetaan 50 - 100 mm:n päähän sauman pinnasta ja tihennystä jatketaan 1,5 kertaa seinän paksuuden verran pystysuuntaan. (1, s. 2, 14; 24, s. 101; 7.)

Vaakataivutusten tulee mahtua selkälevyjen alla olevaan tilaan, joka on noin 400 - 500 mm. Teräksissä ei saa olla taivutuksia, esimerkiksi suorakaiteen muotoisen rakenteen nurkassa kuin toisessa päässä, koska muuten sen asentaminen on mahdotonta. (2, s. 432.)

Pystyterästen pituuteen vaikuttaa teräksen koko. Halkaisijaltaan alle 10 mm:n teräs saa olla korkeintaan 4 metriä ja yli 10 mm:n teräs korkeintaan 6 metriä pitkä. Pystyterästen maksimipituus on 6 metriä. Pystyraudoitus tulee suunnitella siten, että muotin ylikulkeville nostopukkien selkälevyille jää tilaa ja kulkeminen muotin toiselta puolelta toiselle on mahdollista. (24, s. 101.)



Pystyterästen jatkoksia suunniteltaessa tulisi miettiä mahdollisuutta raudoituksen jatkamiseen vain joka toisessa tai kolmannessa poikkileikkauksessa, koska se säästää henkilöstökustannuksia sekä helpottaa työskentelyä. Jos jatkoskohtia ei porrastettaisi, siitä aiheutuisi kiire raudoittajille ja lisäresurssien tarve. Raudoitusmäärän vähentämiseksi voidaan teräslaatu korottaa mahdollisuuden mukaan. Vinoja leikkausteräksiä ei voida käyttää liukuvalurakenteissa lainkaan, koska niiden asentaminen ei ole mahdollista. Opinnäytetyön esimerkkikohteen suunnittelussa päädyttiin ratkaisuun jatkaa joka toinen teräs yhdessä poikkileikkauksessa (kuva 22). (6; 28.)



KUVA 22. Havainnekuva liukuvaluseinän raudoituksesta (28)

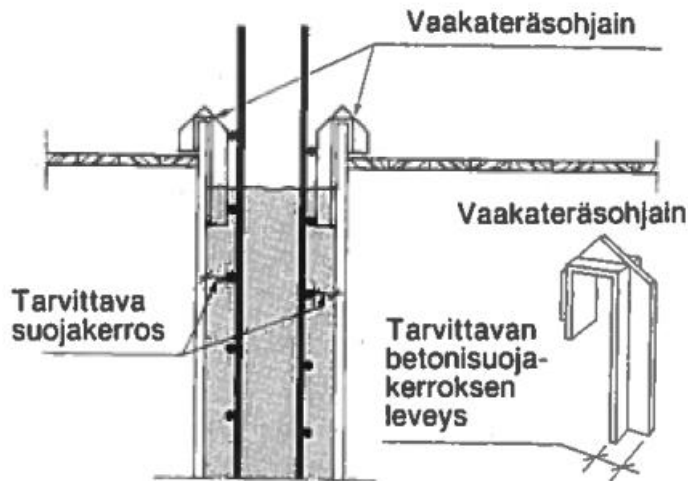
## 6.2 Raudoitustyö

Raudoitus tehdään rakennepiirustusten mukaisesti. Rakenneteräkset tulee esivalmistella, eli katkoa ja taivutella valmiiksi ennen betonitöiden aloittamista, koska telineillä tilaa on rajallisesti ja toisaalta pysytään myös helpommin aikataulussa. Nykyään teräkset tulevat pääosin esitaivutettuina työmaalle. Teräkset varastoidaan työlavoilla, jossa tulee ottaa huomioon työturvallisuuteen, terästen suojaukseen ja muotin liikkeen suuntaan liittyvät seikat sekä eri teräslaatujen lajittelu. Jos kaikkia teräksiä ei pystytä säilyttämään työlavalla, tulee ne varastoida sellaiseen paikkaan, josta ne saadaan helposti siirrettyä valupaikalle. (2, s. 432 – 433, 6.)

Pystyterästen yläpäät sidotaan heilumisen estämiseksi pystyteräsohjureilla ja niiden jatkokset tulee toteuttaa niin ajoissa, ettei niitä jouduta painamaan betonimassaan. Vaakaterästen paikat merkataan esimerkiksi liidulla tai teipillä ja ne sidotaan kuparilangalla huolellisesti pystyteräksiin. Tällä keinoin estetään muotin mukana nousu ja saadaan säilytettyä jako suunnitelmien mukaisena. (1, s. 14.)

Vaakateräkset sidotaan joka neljänteen pystyteräkseen, lukuun ottamatta työsaumoja, joiden jälkeen tihennetyt vaakateräkset sidotaan jokaiseen pystyteräkseen. Teräsverkkojen jokainen risteyskohta sidotaan sideteräksillä ja niiden päät on tärkeää taivuttaa valun sisäpuolelle, ettei ruosteroitoja pääse syntymään valupintaan. (1, s. 14; 24, s. 106.)

Pysty- ja vaakateräsohjaimilla (kuva 23) säädellään myös suojabetonin paksuutta. Näitä tulee olla riittävän tiheästi, eli noin 1 - 2 metrin välein, jotta teräkset saadaan pysymään niille suunnitelluilla paikoilla. U-välipukeilla estetään ulko- ja sisäpintojen teräksien päätyminen toisiaan vasten. (1, s. 14; 24, s. 106.)



KUVA 23. Vaakateräsohjaimen toimintaperiaate (4, s. 14)

Liukuvalua voidaan käyttää myös esijännitetyissä rakenteissa. Tällaisessa tapauksessa valuun asennetaan yleensä vain suojaputket sekä ankkurit ja jänneteräkset vedetään paikoilleen jälkikäteen. (1, s. 2.)

Liuvun aikana tapahtuvan työn valvonta on tärkeässä roolissa, jotta voidaan välttyä virheiltä, joita on työlästä tai jopa mahdotonta korjata jälkeenpäin. Raudoitusta ei voida tarkistaa ennakoon, joten valvonnan on oltava jatkuvaa. Siinä on otettava huomioon toivotun lopputuloksen aikaan saamiseksi, että

- terästen jatkokset on sidottu huolella pystyteräksiin ja jatkospituus on tarkistettu
- vaakaterästen paikat on merkattu ja teräkset sidottu pystyihin
- rakenteiden kulmien vaakaterästen jatkokset, lisäteräkset ja pilareiden haat ovat oikeilla paikoilla
- teräsohjurit on asennettu ja sijoitettu siten, että teräkset eivät pääse liian lähelle betonin pintaa
- terästen päät on taivutettu ja asennettu siten, että ne eivät osu muottiin eivätkä ylitä muotin pintaa. (2, s. 433.)

### **6.3 Tartunnat, varaukset ja liittyvät rakenteet**

Liittyviä rakenteita varten, joita valetaan yleensä paikallavaluna jälkeenpäin, tehdään liukuvalun yhteydessä varauksia ja aukkoja sekä asennetaan tartunta-teräksiä- ja levyjä. Varauksia, tartuntoja tai kiinnikkeitä, jotka ulkonevat betonin pinnasta, voidaan käyttää vain valun suunnassa. Tämän vuoksi tartuntateräkset joudutaan taivuttamaan valun ajaksi siten, että muotti pääsee liukumaan niiden ohitse, minkä jälkeen ne suoristetaan. Tämän vuoksi tartunnoissa voidaan käyttää materiaaliltaan vain S235JRG2 ja halkaisijaltaan korkeintaan 12 mm:n pyöröterästä. (4, s. 2). Mikäli liittyviin rakenteisiin kohdistuu suuria kuormituksia, jatkokset toteutetaan yleensä muhvi- tai hitsausjatkoksina, koska silloin on tarve käyttää suurempaa kuin 12 mm:n terästä. (7.)

Raudoite-elementtejä eli työsaumaraudoitteita käytetään yleisesti liittyvien rakenteiden tartuntoina. Esimerkiksi tasojen tartunnoiksi käyvät Peikon TS - työsaumaraudoitteet (kuva 24), jotka valetaan liukuvalettavan rakenteen sisään niille suunniteltuihin paikkoihin. (7; 28.)



*KUVA 24. Peikon valmistama TS-työsaumaraudoite (27)*

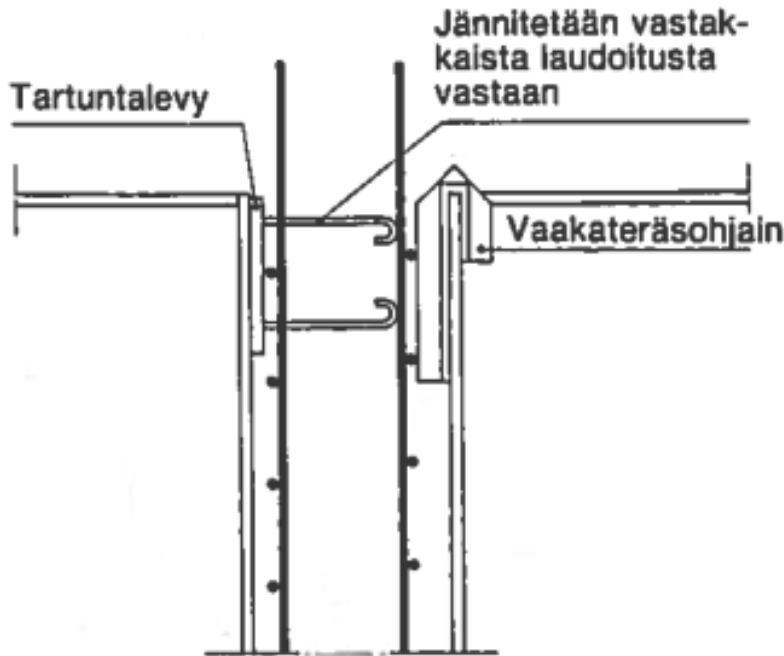
Liukuvalun lähtötason tartuntateräkset tulisi suunnitella noin 1 300 mm pitkeiksi, jotta raudoitus saadaan sidottua muotin korkeudelle ennen muotin kokoamista. Perustusten tartunnat tulisi olla mahdollisimman lyhyet, mutta vähintään jatkospituuden verran. (3, s. 31; 24, s. 101.)

Aukoista ja esimerkiksi liittyvien rakenteiden varauksista täytyy tehdä betonointikorkeuden mukainen luettelo. Siinä määritetään alapinnan korko, tunnus, koko, asennuskoordinaatit ja muut mahdolliset valuun vaikuttavat asiat, kuten tukipilareiden tarve. Työn kannalta merkityksettömiä ovat aukkojen ja varausten muodot, mutta työnsuorittamisen helpottamisen vuoksi niiden olisi suositeltavaa olla kooltaan ja sijainniltaan sellaiset, että ne mahtuvat nostopukkien väliin. Syvyysmitoituksessa tulee huomioida muotin päästö ja betonin suojakerros. (2, s. 433 – 434; 24, s. 101.)

Aukkojen ja varausten muotit on valmistettava ennen betonoinnin aloittamista. Muottien koko täytyy suhteuttaa valettavan rakenteen paksuuteen siten, ettei muotin mukaan lähtemisen vaaraa synny. Ne tulee myös ankkuroida jo valettuun betoniin, jotta ne pysyvät paikoillaan. Muotin on oltava myös riittävän kestävä, jotta se pystyy ottamaan vastaan siihen kohdistuvan betonin paineen. Varaukset kiinnitetään yleensä rakenneteräksiin aputeräksien avulla hitsaten. (2, s. 434.)

Teräsvarausten tekotapoja liukuvalussa on useita ja ne valitaan aina käyttötarkoituksen mukaan. Tartuntalevyt soveltuvat erilaisten hitsaamalla kiinnitettävien osien ankkurointiin. Yleisimmin tartuntalevyjen asennus (kuva 25) tapahtuu si-

ten, että ne jännitetään rakenneteräksien ja vastapuolen vaakateräsohjaimien väliin, jolloin jännitys painaa tartuntalevyn muotin pintaan. (1, s.20; 4, s.152.)



KUVA 25. Tartuntalevyn asennustapa (4, s. 152)

Tartuntalevyt voidaan jättää myös upoksiin betonin sisään, jolloin muotin mentyä ohi raaputetaan varaus välittömästi esille ja rakenteen ankkuroinnin jälkeen liitos peitetään sementtilaastilla. Tämä menetelmä soveltuu hyvin esimerkiksi rappuelementtien kiinnitykseen. Jotkin kiinnitettävät osat tarvitsevat rakenteen läpiankkuroinnin, jota kutsutaan hylsyvaraukseksi. Tämä soveltuu esimerkiksi teräsrappujen kiinnittämiseen. (1, s. 20.)

Sisäkierreholkkeja käytetään yksittäin tai ryhminä yleensä keveiden osien kiinnityksiä varten. Se soveltuu rakenneterästen jatkamiseen ja muihin vastaaviin ankkurointeihin. Mikäli palkkiteräksiä jatketaan, joudutaan sisäkierreholkit sijoittamaan kotelovaraukseen. (1, s. 20.)

Teräs - muototeräsvaraus soveltuu raskaiden osien ankkurointiin. Tätä varausmenetelmää voidaan käyttää muun muassa vesitornin säiliöosan muotin kannatinrakenteen nostamiseen liukuvalun mukana. Kotelon läpi työnnetään kotelon kokoinen muototeräs, kunhan nostettavan rakenteen ankkurointiosa on nousut

kotelon ohitse. Muototeräsvarausta käytetään teräsrakenteiden esimerkiksi teräsrakenteisten portaiden, lepotasojen ja palkkien, ankkuroimiseen. (1, s. 20.)

Varaussuunnitelmassa tulee esittää seuraavat asiat:

- naamakuvat, joissa on kaikki varaukset samasta seinästä tai varausluetelo
- varausten koko, alapinnan korkeusasema ja vaakasuuntainen sijoitus
- varausten asennus
- varausten kokoaminen ja purkaminen (24, s. 104 – 105).

## 7 LIUKUVALUTYÖ

Liukuvalutyön onnistuminen kokonaisuudessaan edellyttää perusteellista valmistelua, suunnittelua ja mahdollisten ongelmakohtien tiedostamista. Työn aloitusvaiheessa liukuvalumuotin kasaaminen ja töiden valmistelu vie runsaasti aikaa verrattuna muihin valumenetelmiin, mutta itse rakenne syntyy nopeasti. Kohteesta rakennesuunnittelija tekee rakennesuunnitelmat ja kohteen toteuttaja, eli urakoitsija tekee liukuvalutyön suunnitelmat. (1, s. 12; 7.)

Rakennesuunnittelijan suunnitteluaineiston sisältö on seuraava:

- mittapiirustukset
- varauspiirustukset
- raudoituspiirustukset
- detaljipiirustukset
- liukuvalurakenteiden toteutuseritelmä (7).

Kohteen toteuttajan tulee laatia seuraavat asiakirjat:

- laadunhallinnan kuvaus
- työmaan laatusuunnitelma
- menettelytapaohje muutosten ja poikkeamien käsittelyyn
- työturvallisuussuunnitelma
- muottisuunnitelma, joka sisältää muotin kasaukseen, purkuun ja kuormitukseen liittyvät selvitykset
- työlavasuunnitelma, jossa otetaan huomioon muun muassa kulkuteiden, kaiteiden ja portaiden käytännöllisyys ja työturvallisuus sekä varmistetaan, ettei lava vaikeuta muotin ohjautuvuutta
- resurssisuunnitelma, tehtävien jako työntekijöille ja työnjohdon saatavuus jokaiseen työvuoroon sekä huomioitava eri työvaiheiden resurssitarve
- laitesuunnitelma, koneiden ja tarvikkeiden osalta tulee suunnitella niiden testaus ja mahdollisesti tarvittava varalaitteisto
- mittaussuunnitelma, joka sisältää mittausvälineiden tarkistuksen suunnittelun, rakenteen suoruuden ja kiertymän mittaustoimenpiteisiin sekä raportointiin liittyvät seikat

- Raudoitustyön suunnitelma
- betonin lujuuden kehityksen suunnitelma
- betonointisuunnitelma
- laadunvalvontasuunnitelma
- talvibetonointisuunnitelma
- lämpökäsittelysuunnitelma (7; 24, s. 102 – 104.)

Vasta kaikkien tarvittavien suunnitelmien valmistuttua voidaan tehdä aikataulu-suunnitelma liukuvalutyön toteutusta varten. Aikataulu tulee sovittaa rakentamisaikatauluun. Liukuvalutyön toteutukselle paras ajankohta on keväällä tai syksyllä, kun ei ole liian kuuma eikä kylmä. Lämpimällä säällä betonin pyrkii sitoutumaan liian nopeasti ja sitä joudutaan estämään erikoistoimenpiteillä. (21, s. 193; 24, s. 104.)

## **7.1 Liukuvalutyön aloitus**

Rakennusaikataulussa liukuvalulle on varattu aika, jotta työ voidaan suorittaa työkohteessa esteettömästi ja turvallisesti. Ennen valutöiden aloittamista tulee tarkistaa, että työkohteen lähtötaso on vaakasuora ja suunniteltujen toleranssien puitteissa. Muottiin asennetaan ensimmäisenä muottikehät, minkä jälkeen on vuorossa muottipinta. Sen jälkeen muottijärjestelmään liitetään nostopukit, hydraulipumppu/ -pumput, työlava ja pystyteräsohjurit. Muotin kasauksen jälkeen suoritetaan tarkistuslistan mukainen aloitustarkastus, joka sisältää seuraavat asiat (3, s. 31; 21, s. 102):

- lähtötason puhtaus
- rauditusverkon oikea sijainti ja vaakateräsohjureiden riittävyys
- muotin päästö
- lähtökorkeus
- kiinnityslevyjen, toppareiden, karvalautojen ja muiden varausten määrien täsmäminen suunnitelmiin ja niiden kuljetus valukohteen läheisyyteen ennen aloitusta
- hissin käyttöönotto
- hydrauliiikan testaus
- työtason käyttöönottotarkistus työturvallisuuden kannalta



- riipputelineiden tarkistus, kun muotti on noussut noin 3 metriä
- liukuvalukohteen suoja-alueen rajausta lippusiimalla ja varoituskilvillä
- huomioidaan varaosien tarve ja tarkistetaan betonointi-, valaistus- ja lämmityskaluston kunto (24, s. 105 – 106).



*KUVA 26. Äänekosken biotuotetehtaan piipun liukuvalumuotti on juuri valmistumassa (29)*

## 7.2 Betonointityö

Betonointityön aloitusta edeltää betonointisuunnittelu, eli betonointisuunnitelman laadinta, jossa tulee esittää seuraavat asiat:

- Betonin ympärivuorokautinen saanti on varmistettava siten, että betoniaseman rikkoutumisen varalta on olemassa hälytysvalmiudessa oleva vara-asema.
- Betonin siirto betoniasemalta työkohteisiin ja työlavalle on järjestettävä. Nosto työlavalle tapahtuu yleensä nosturilla, pumpulla tai vinssi- ja hissilaitteilla.
- Koneille, jotka ovat ratkaisevassa osassa liukuvalulaitteistoa, on järjestettävä varakoneisto tai huolto.
- Työlavoilla, tarvittavilla kulkuteillä ja muilla työskentelyalueilla on oltava tehokas valaistus.

- Työlavat ja kulkutiet on pidettävä vapaana ja puhtaina työturvallisuuden takaamiseksi.
- Työn organisointi eli työryhmät on jaettava ja työtehtävät suunniteltava siten, että voidaan taata työn jatkuva eteneminen.
- Vuorotyöluvat on hankittava, mikäli työtä on tarkoitus toteuttaa työvuo-roissa.
- Betonimassan suhteitus tulee testata ennakkokokeiden avulla ennen va-lutyön aloittamista.
- Tarvittavien mittausten ja muiden tarkistus- ja varmistus toimenpiteiden suorittamisesta on sovittava työn suunnitteluvaiheessa.
- Telineiden suunnittelu ja tarkistus on suoritettava työturvallisuus säädös-ten mukaisesti.
- Suunnitelmassa on huomioitava myös raudoituksen ja varauksien osalta tarvittavat seikat. (2, s. 430).

Betonoinnin aloitus eli muotin irtiajaminen on kriittinen vaihe, koska sen yhtey-dessä esiintyvät kaikki mahdolliset muottivirheet, jotka ovat jääneet aikaisem-missa vaiheissa huomaamatta. Muotista täytetään 2/3 noin 200 mm:n, mutta korkeintaan 250 mm:n betonikerroksilla. Ensimmäinen 200 mm:n kerros on levi-tettävä hyvin nopeasti ja kauttaaltaan muotin pohjalle, koska ensimmäisen ker-roksen täyttymisestä aletaan laskea aika muotin irrotukseen. (2, s. 431.)

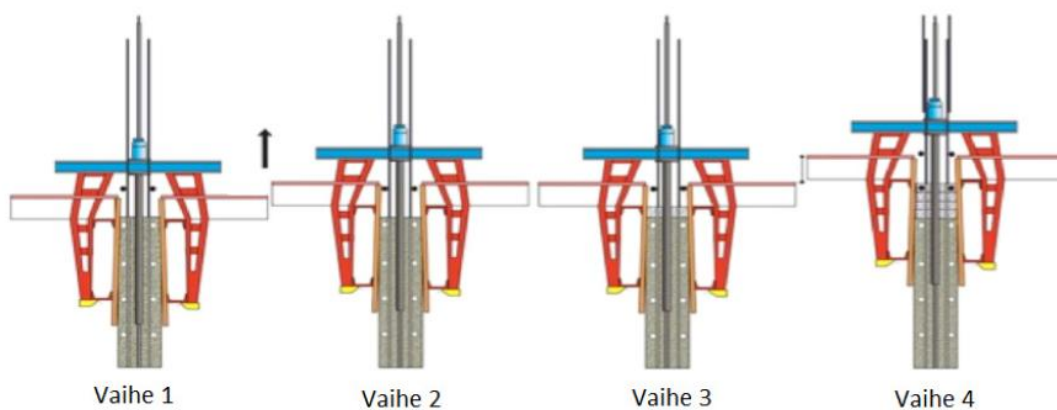
Muotin irtiajossa selviää, että onko betonin sitoutumisaste suositeltujen raja-arvojen puitteissa. Jos massa pyrkii nousemaan muotin mukana, joudutaan be- tonin putoamista auttamaan koputtelemalla muotin alareunaa. (2, s. 431.)

Havaitut muottivirheet on paikallistettava ja korjattava nopeasti. Ensimmäinen nosto tehdään, kohteesta riippuen, noin 3 - 4 tunnin kuluttua valun alkamisesta. Betonointikierroksen aikana muotti saa olla yläreunasta korkeintaan 300 mm vajaa ja onkin suositeltavaa, että liu`un alettua muottia täytetään noston kanssa samanaikaisesti niin, että muotti on jatkuvasti täynnä betonia. (2, s. 431.)

Betonin tullessa esiin muotin alta siinä esiintyy usein halkeamia. Tavallisesti ne eivät ulotu kuin teräksiin asti ja niiden umpeutuminen saadaan aikaan hiertä-mällä pinta välittömästi. Toisinaan rakenteeseen syntyy kuitenkin läpi asti ulot-

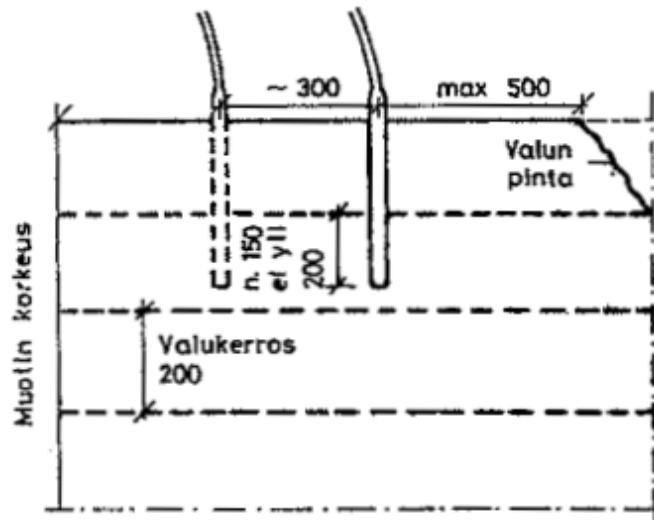
tuvia halkeamia, jos esimerkiksi nousunopeus tai muotin päästö on liian pieni, seinä liian ohut tai muotin pinta liian karhea. Nämä halkeamat korjataan joko injektoimalla tai piikkaamalla rakenne auki ja jälkibetonoimalla. (1, s. 4; 2, s. 431; 8.)

Kuvassa 27 on esitettyä liukuvalumuotilla rakentamisen vaihteita. Vaiheiden 1 ja 2 välillä muottia nostetaan ylöspäin uudella betonikerroksella täyttämistä varten, jota kuvaa vaihe 3. Vaiheessa 4 betoni on saavuttanut riittävän lujuuden ja sitä nostetaan jälleen uuden valukerroksen valamista varten. (5, s. 15.)



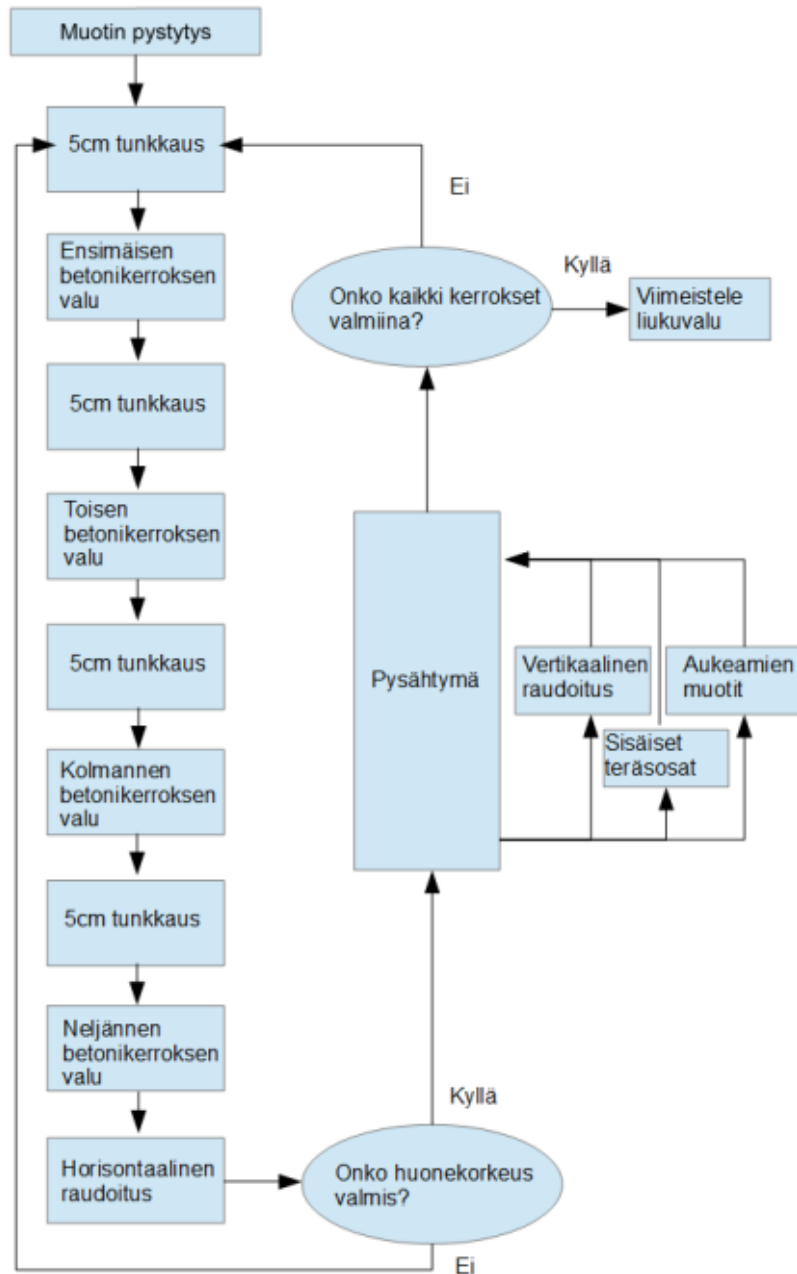
*KUVA 27. Liukuvalumuotilla valua (5, s. 15)*

Massan tiivistys hoidetaan täryttämällä (kuva 28) siten, että sauvatärytin läpäisee ainoastaan viimeiseksi valetun kerroksen. Tartuntojen tai muuten tiheämissä raudoituskohdissa pistotiheyttä lisätään, mutta normaalisti sauvapistojen tiheys on korkeintaan kahdeksankertainen sauvan halkaisijaan nähden. Tärytysaika yhtä pistoa kohden on 5 - 8 sekuntia. (2, s. 431; 3, s. 32.)



KUVA 28. Kaavakuva liukuvalun valukerroksista ja täryttimen käytöstä (2, s. 431)

Valutyö suoritetaan käyttäen betonipumppua sekä autonosturia matalimpiin kohteisiin ja torninosturia erittäin korkeiden rakenteiden valamiseen. Betonipumpun etuna on, että sen avulla betoni saadaan pumpattua suoraan valuuraan. Auto- ja torninosturit puolestaan nostavat betonia täynnä olevaa astiaa, jota kutsutaan valujassikaksi. Valettava betonimassa puretaan valujassikasta liukuvalumuotin valu-uraan. (6.)



KUVA 29. Esimerkkikaavio liukuvalutyön etenemisestä (5, s. 14)

### 7.3 Nosto, liu`un ohjaus ja mittaukset

Nosto suunnitellaan siten, että liukuvalurakenteeseen liittyville rakenteille on, joko liittyessään tai pois jäädessään, jokin systeemi, jonka avulla ne ovat helppo liittää mukaan tai irrottaa. Nostotankojen alapää tulee suojata ja merkata niiden paikat reiän porausta varten. Tässä vaiheessa asennetaan paikoilleen myös mahdollinen muoviputki nostoteräksille myöhempää vedenpoistoa tai injektoin-

tia varten. Nostotangot täytyy suojata myös varausten ja paikkausten kohdilla. (1, s. 14.)

Kun muotti on täytetty betonilla vaadittuun korkeuteen, käynnistetään hydrauliliikkipumppu ja aloitetaan muotin nosto. Nousu tapahtuu nostotunkkien avulla noin 350 - 450 mm:n sykleissä. Nostoja jatketaan työsaumaan tai rakenteen harjakorkeuteen saakka. Mikäli betonointityö joudutaan keskeyttämään, on nostoja jatkettava niin kauan, kunnes muotti päästönsä ansiosta irttaa betonipinnasta. (2, s. 435.)

Nousunopeutta on mahdollisuus säädellä ennakkoon työn eri vaiheita varten, kun otetaan huomioon siihen vaikuttavia aikatekijöitä. Liuksen nostonopeus määritellään seuraavien tekijöiden perusteella:

- betoniaseman valmistus- ja kuljetuskapasiteetti, eli betonin saatavuus
- betonin siirtotapa ja välimatka kohteeseen
- betonointimenetelmä
- raudoitustyön haasteellisuus ja raudoituksen määrä
- varausten, asennusosien ja liittyvien rakenteiden määrä ja asennustyön vaativuus. (2, s. 434.)

Suhteitusta muuttamalla siten, että betonin sitoutumisaika muuttuu, voidaan tarvittaessa vaihdella muotin nousunopeutta. Suhteitusmuutos tulee toteuttaa hyvissä ajoin eli noin pari tuntia ennen nousunopeuden muutosta. Taulukossa 1 on esitetty betonin tärytysrajan saavuttamisajoista laskettuja arvioita nousunopeudesta, jotka voidaan suhteellisen helposti saavuttaa normaaliolosuhteissa. (2, s. 434 – 435.)

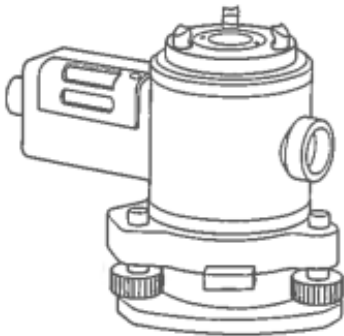
*TAULUKKO 1. Betonin tärytysrajan saavuttamisajasta laskettu nousunopeuden arvio (2, s. 425)*

Tärytysraja h	Ennustettu nousunopeus mm/h	mm/d
5	460	11 000
6	400	9 600
8	280	6 700
10	200	4 800
14	140	3 300
18	90	2 100

Liu`un vaakasuoruus on ehtona liu`un pystysuoruuden saavuttamiseksi. Tähän vaikuttavat nostotunkkien paikat, jotka tulisi suunnitella siten, että jokaiselle niistä kohdistuu yhtä suuri kuormitus. Jos tunkeilla on epätasainen kuormitus, lähtee vähiten kuormitettu tunkki nousemaan ensin ja seuraavat kuormitetussa järjestyksessä, mistä seuraa valuun epätoivottuja muodonmuutoksia ja poikkeamia liu`un suunnassa. (22, s. 480.)

Liu`ussa tapahtuvia poikkeamia voivat olla muutokset pysty- tai vaakasuunnissa tai rakenteen kiertyminen. Vaikka nostotunkit on yleensä varustettu automaattisella tasausjärjestelmällä, tarkistetaan liu`un vaakasuoruus silti vesivaa`alla vähintään kerran työvuorossa. (2, s. 435 – 436.)

Pystysuoruus sekä kiertymä tarkistetaan yleensä optisilla laitteilla (kuva 30). Betonoitavan rakenteen korkeusmittaus toteutetaan joko rakenteeseen kiinnitetyllä mitta-asteikolla tai optisin välinein. Mittalaitteiden toimivuus tulee aina tarkistaa ennen töiden aloitusta. Mittauspisteet valitaan siten, että ne mahdollistavat kiertymän ja pystysuoruuden valvonnan sekä niiden paikat tulee pysyä samana koko liu`un ajan. Mittauksia on tehtävä riittävän usein, vähintään kahden tunnin välein ja tulokset on raportoitava sekä arkistoitava. (2, s. 436; 4, s. 152.)



*KUVA 30. Optinen luoti (4, s. 152)*

Poikkeaman sallitaan olevan  $\pm 10$  mm 10 metrin matkalla. Jos tätä suurempia poikkeamia ilmenee, täytyvät korjaustoimenpiteet aloittaa välittömästi, koska liu`un edetessä kallistumat ja kiertymät vain pahenevat. Ennen korjaustoimenpiteiden aloittamista on selvitettävä, mikä aiheuttaa suunnasta poikkeamisen, minkä jälkeen voidaan muottiin asettaa vastavoima, joka kumoaa poikkeaman

aiheuttaman voiman. Vastavoimina käytetään yleensä samoja tekijöitä, jotka myös aiheuttavat poikkeamia. (2, s. 436 - 436; 4, s. 152.) Näitä ovat esimerkiksi

- pyöreitä muotteja käytettäessä betonointisuunnan vaihtaminen
- epätasainen nostaminen, eli ajetaan osa muotista muita osia ylemmäs
- muotin epätasainen täyttäminen, eli jätetään betonin pinta osassa muotia alemmas, mutta ei kuitenkaan alle 300 mm sallivuusrajan
- työlavojen epätasainen kuormittaminen, esimerkiksi teräkset voidaan varastoida vain toiselle puolelle muottia
- muotin kulkusuunnan muuttaminen pakottamalla, esimerkiksi vetotangoilla, vipuvarsilla tai vaijerivedoilla. (2, s. 435.)

Nostotyön valvonta vaatii huolellista suunnittelua, jotta työn suorituksen aikana esiin tulleet poikkeamat tai virheet saadaan paikattua tehokkaasti. Valvonnassa tulee huomioida seuraavat asiat (2, s. 436):

- Nostotyön suorittajan tulee olla jatkuvasti ajan tasalla muotin kulkusuuntaan liittyvien mittausten tuloksista ja osata toimia niiden mukaisesti.
- Nousuvauhdin seuranta täytyy suunnitella, jotta muotti ehditään täyttää, tiivistää ja raudottaa tavoitteiden mukaisesti.
- Muotin päästöä tulee seurata, koska alareunan tulee olla jatkuvasti irti betonin pinnasta.
- Betonin lämpötilan ja lujuuden kehityksen seuranta on tärkeää, jotta betonilla olisi oikea sitoutumisaste muotista paljastuttuaan. (2, s. 436.)

#### **7.4 Rakenteiden toleranssit**

Valmiille rakenteelle määritetään aina suurimmat sallitut toleranssit, joiden sisällä rakenteen tulee olla. Toleranssit määrätään rakenteen osille, joissa liian suuret mittapoikkeamat voivat olla haitallisia rakenteen kestävyys, toimivuuden tai rakenteen eri osien yhteensopivuuden kannalta. (30, s. 83.)

Liukuvalurakenteiden mittatoleranssit määräytyvät samojen ohjeiden mukaisesti kuin tavallisten paikallavalurakenteidenkin. Rakenteelliseen varmuuteen vaikuttavat toleranssit jaetaan luokkiin 1 ja 2, mikäli suunnitelmassa ei ole erillistä mainintaa, käytetään toleranssiluokkaa 1. (30, s. 83.)



Toleranssiluokka 1 vastaa normaalitoleransseja ja toteuttaa standardin SFS-EN 1992-1-1 suunnitteluolettamuksia ja varmuustasoa, kun käytetään kyseisen standardin kansallisen liitteen kohdan 2.4.2.4 pienentämättömiä materiaaliolosavarmuuslukuja. (30, s. 83.)

Toleranssiluokkaa 2 käytetään ensisijaisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 liitteessä A esitettyjen pienennettyjen materiaaliolosavarmuuslukujen kanssa. Standardissa SFS-EN 13670 ja julkaisussa By 47 betonirakentamisen laatuohjeet 2013 on taulukoitu standardin SFS-EN 1992-1-1 vaatimusten täyttävät mittapoikkeamat eri rakenteille. (30, s. 83.)

## **7.5 Työsauman toteutus**

Jatkuvasti etenevässä tauottomassa työskentelyssä henkilöstökustannukset nousevat yleensä niin suuriksi, että päädytään pitämään viikonlopun yli kestäviä taukoja valussa. Täysin työsaumatonta rakennetta ei yleensä valeta nykypäivänä kuin erityisestä syystä. Tällainen syy voi olla esimerkiksi aikatauluun tai rakenteen tiiviyyteen liittyvä vaatimus. Työsauman toteutus on joka tapauksessa aina suunniteltava, vaikkei sitä olisikaan tarkoitus tehdä. Teknisesti työsauman toteutukselle ei ole esteitä. (2, s. 431; 6.)

Rakennesuunnittelija laatii työsaumasuunnitelman, josta selviää työsauman rakenteellinen toteutus. Liukuvalutyön suunnittelija määrittää, mihin kohtaan työsaumat tehdään, mutta kuitenkin sillä varauksella, ettei aina pysytä ennalta suunnitellussa viikkorytmissä ja valukatko voi aiheuttaa työsaumoja myös muihin rakenteen kohtiin. Urakoitsijan kanssa tulee sopia ennakolta työsaumojen paikat, mikäli niillä on merkitystä rakenteen toimivuuden kannalta. (2, s. 431.)

Jos työ keskeytetään pidemmäksi aikaa, vaikka muutamaksi päiväksi, suoritetaan muotin irtiajo. Tämä toteutetaan siten, että betonoinnin päätyttyä muottia nostetaan edelleen ylöspäin niin kauan, kunnes muotista enää 2/3 on täynnä. Tämän seurauksena muotti irtaantuu päästönsä ansiosta betonin pinnasta eikä betoni pääse enää kovettumaan muottiin kiinni. (2, s. 431.)

Muottia lähdetään nostamaan noin 350 – 400 mm kerrallaan ja esiin tuleva sementtikerros harjataan rikki puoleksi sitoutuneesta betonista. Muotin alle jäänyt

käsitlemätön pinta hierretään lisämässan avulla. Jatkettaessa liukua työsauman jälkeen on huolehdittava, ettei työsaumassa ole esimerkiksi roskia tai irtonaisia betonipaloja. (1, s. 14; 2, s. 431.)

Työsaumojen kohdalla betonipinta valetaan mahdollisimman suoraksi. Liukuvalussa työsaumaan asennetaan aina lisäteräksset, koska eurokoodin mukaan liukuvalettu työsaumanpinta luokitellaan sileäksi ja vain karheissa pinnoissa voi tulla kyseeseen työsauman teko ilman lisäraudoitusta. Tauon jälkeiset vaakateräksset sidotaan jokaiseen pystyteräkseen ja ensimmäinen vaakateräs tulisi sijoittaa noin 50 - 100 mm:n päähän sauman pinnasta ja vielä seuraavakin tiennettynä. Työsaumaan lisätään myös tiiveysvaatimusten mukaan tiivistysnauha tai peltikaista, mikäli tavoitteena on valaa vesi- tai kaasutiivis rakenne. (1, s. 14; 26, s. 92.)

## **7.6 Jälkihoito ja suojaus**

Liukuvalussa betoni joutuu jo hyvin nuoressa iässä alttiiksi sääolosuhteille, jotka voivat vaikuttaa haitallisesti betonin sitoutumiseen ja kovettumiseen. Tuore, muotin alta paljastuva betoni tulee kylmällä säällä suojata peitteillä ja mahdollisella lisälämmityksellä. (2, s. 431 – 432.)

Suojapeitteen tulee ulottua vähintään 5 metriä valupinnan alapuolelle, mutta mielellään maahan asti, mikäli mahdollista. Suojapeiteinä käytetään yleensä pressuja, jotka kiinnitetään huolellisesti kiinnityselimiin, jotta suoja saadaan tuulen pitäväksi. Mahdolliset lämmittimet sijoitetaan riipputelineelle suojapeitteen sisään. Ne ovat tavallisesti sähkö- tai polttonestekäyttöisiä puhaltimia, jonka on tuotettava lämmitystehoa noin 2 kW betoniseinäjuoksumetriä kohden. (4, s. 152.)

Betonin on saavutettava pakkasen kestävä lujuus ennen suojauksen poistamista. Kuumilla ilmoilla betonin liian nopea sitoutuminen tulee estää säilyttämällä betonin kosteus esimerkiksi reiällisellä letkulla toteutettavalla vesisumutuksella tai pintakäsittelyaineilla, joiden tarkoituksena on estää kosteuden haihtuminen. (1, s. 13.)

Jälkikäsitteilyn avulla saadaan välittömästi paikattua mahdolliset betoniin syntyneet halkeamat ja valuvirheet. Paikkausmassa voidaan seuloa käytetystä betonimassasta, jolloin pinnasta saadaan tasaisen värinen. Sellaisissa poikkeustapauksissa, joissa betonipinta jää ulkoverhouksen alle piiloon, voidaan pinta jättää myös käsittelemättä. Näissäkin tapauksissa tulee kuitenkin korjata halkeamat, koska ne saattavat olla haitallisia rakenteen toiminnan kannalta. (2, s. 13.)

Liukuvalurakenteiden jälkikäsitteily on suunniteltu toteutettavaksi työtasojen alapuolella olevilta riipputelineiltä. Paikkausmassalla korjataan virheet ja halkeamat, minkä jälkeen suurin osa betonipinnoista huopahierretään. Hierto tehdään ”tossulla” eli hiertimellä, jossa hierrinlaatan pinta on päällystetty viselasieläillä, jolla saadaan aikaiseksi tavoitteiden mukainen pinta. (1, s. 23; 2, s. 432.)

Erikoistapauksissa, joissa tavoitellaan poikkeuksellinen tasaista lopputulosta, käytetään myös teräshiertoa tyypillisimmin siilojen sisäseiniin. Jälkikäsitteilyä on tehty myös harjaamalla, joka ei tuota kovin siistiä lopputulosta ja erikoisratkaisuna hiekkapuhaltamalla. (1, s. 13, 30.)

## **7.7 Betonointityön valvonta**

Liukuvalubetonoinnin yhteydessä tapahtuvan valvonnan tulee olla jatkuvaa, koska se on tavalliseen paikallavaluun verraten paljon hektisempää ja yllättäville muutoksille alttiimpaa. Liukuvalubetonoinnin yhteydessä laatua tarkkaillaan samoilla menetelmillä kuin tavanomaisessakin betonointityössä, mutta menetelmän erikoisluonteen vuoksi on kiinnitettävä huomiota lisäksi seuraaviin asioihin:

- muotista paljastuvan betonin sitoutumisasteen arviointi ja mittaus
- havainnot väärän sitoutumisasteen aiheuttamista työvirheistä, kuten halkeilu, massan irtoaminen ja valesaumamat
- betonimassan koostumuksen tarkkaileminen
- betonipinnan tuoreuden tarkistaminen, ettei synny saumoja
- tärytys suorittaminen oikeaan aikaan ja riittävän usein

- työlavojen puhdistaminen, ettei kovettunutta betonia päädy muotin sisään
- betonin jälkihoidon toteuttaminen siten, että betonin vaadittavat lujuusominaisuuden saavutetaan. (2, s. 432.)

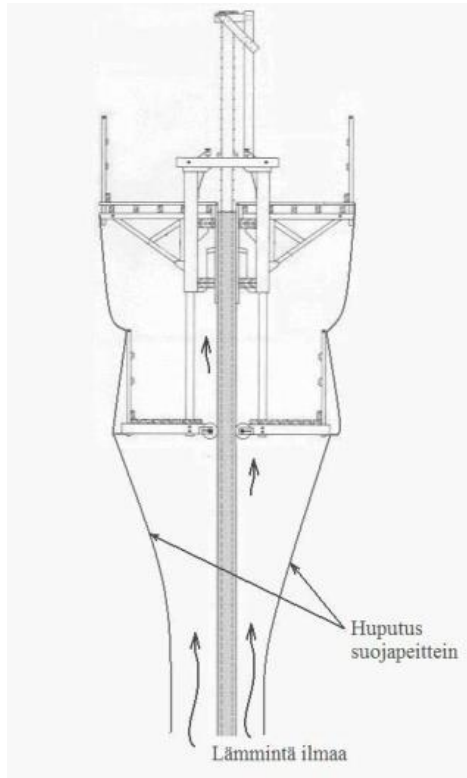
## 7.8 Talvibetonointi

Liukuvaluja voidaan tehdä kohtuullinen vaikeissa oloissa myös talvella jopa - 20 °C:een lämpötilassa. Työ tietysti vaikeutuu ja sen kustannukset nousevat, kuten tavallisessakin paikallavalubetonoinnissa. Suurin haaste talvibetonoinnissa on betonin suojaus tuulelta ja kylmyydeltä. Talvibetonoinnin yleisiä periaatteita noudatetaan myös liukuvalussa, kuten lämpimän betonimassan käyttö ja sen suojaus sekä lämmitys, kunnes tavoiteltu jäätymislujuus on saavutettu. (1, s. 3; 2, s. 435.)

Talvella suoritettavaan liukuun on asetettu lisäksi seuraavia erityisvaatimuksia ja suoritettavia toimenpiteitä, jotka takaavat riittävän lujuuden saavuttamisen:

- Nostoastioiden tulisi olla mahdollisuuksien mukaan joko katettuja tai lämpöeristettyjä.
- Ulkotelineiden ja laajoissa avonaisissa tiloissa myös sisäpuoliset telineet tulisi suojata, jotta saadaan estettyä betonipinnan suora kosketus kylmän ilman kanssa.
- Betoni suojataan tuulelta riipputelineiden alapuolelle ripustettavilla limettyillä peitteillä ja tarvittaessa voidaan käyttää myös lämmöneristysmattoja peitteiden alapuolella tai liukumuotti voidaan eristää.
- Avonaisissa rakenteissa muotin molemmat puolet huputetaan (kuva 31) ja vastaavasti umpinaisissa vain ulkopuoli ja sisäpuoli holvataan.
- Betonin lämmitys tulee järjestää, joka hoidetaan yleensä riipputelineille asetetuilla lämpöpuhaltimilla tai infrapunalämmittimillä.
- Betonin tulee olla +20 °C vielä siinäkin vaiheessa, kun se sullotaan muottiin. Betonin lämpötilaa tulee seurata jatkuvasti, kunnes voidaan todeta, että vaadittu lujuus on saavutettu lämpöastevuorokausien perusteella.

- Mikäli liukuvalutyö joudutaan keskeyttämään kylmään vuodenaikaan, sitä ei voida tehdä välittömästi, vaan keskeytyspäätöksen jälkeen on työskenneltävä vielä vähintään yksi työvuoro. (1, s. 3 - 4; 2, s. 435.)



KUVA 31. Valurakenteen huputus. (3, s. 35)

## 7.9 Liukuvalutyön lopetus

Liu`un valmistuttua suoritetaan muotin irtiajo samoilla periaatteilla kuin työsaumojen kohdalla ja tarkistetaan muotin vaakasuoruus. Muotti tuetaan ankkuroimalla se kiinni valmiiseen rakenteeseen. Tämän jälkeen odotellaan yleensä vähintään kuusi tuntia, että betoni on saavuttanut riittävän sitoutumisasteen kantaakseen koko muotista aiheutuvan kuorman. Lopuksi nostotankit voidaan irrottaa ja valetussa rakenteessa putkien sisällä olevat nostotangot nostaa ylös. (3, s. 39.)

Nostotankojen nostaminen vaatii erityistä huolellisuutta, koska reikä pudonnutta tankoa on mahdotonta nostaa takaisin ylös. Nostoreiät on suositeltavaa täyttää, koska niihin pääsee yleensä kertymään vettä, joka jäätyessään voi ai-

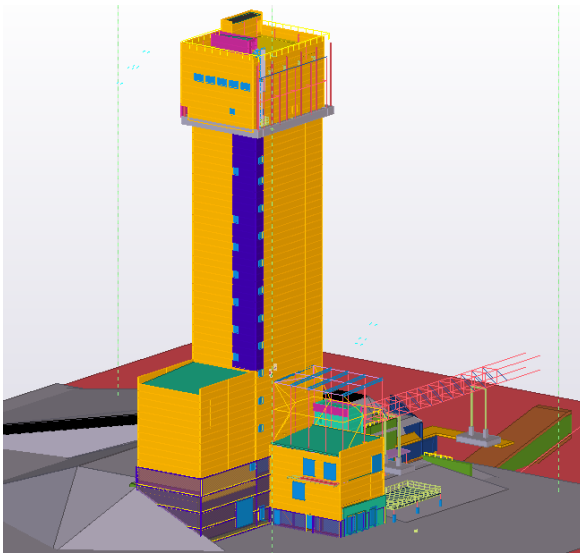
heuttaa betoniin halkeamia. Täyttäminen tapahtuu alhaalta päin injektoimalla tai ylhäältä päin reiän pohjaan asti ulottuvan letkun avulla. (1, s. 2; 3, s. 39.)

Muotin purku on haasteellinen, erityistä varovaisuutta vaativa työvaihe ja sitä varten tulee valita kokenut työryhmä. Tässä vaiheessa korostuu huolellinen purkutyön suunnittelu ja työturvallisuusriskien havainnointi. Ennen valun aloitusta on valmisteltava muotin purkusuunnitelma, jonka sisältämä ohjeistus on selkeä. Työnjohdon on oltava paikalla koko muotin purun ajan. (1, s. 15; 24, s. 108.)

Muotti voidaan nostaa ylhäältä maahan nosturilla ja sen varsinainen purku sekä osien irrotus tapahtuu maassa. Muotti paloitellaan osiin purkusuunnitelman mukaisesti, joka sisältää purkujärjestyksen, turvallisuuteen liittyvät seikat ja nosturin nostokapasiteetin. Lopuksi muotti tulee puhdistaa ja korjata, jos sitä on tarkoitus käyttää myös uudelleen seuraavassa kohteessa. (1, s. 15; 3, s. 39; 24, s. 107.)

## 8 NOSTOTORNIN LIUKUVALURAKENTEIDEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyössä käytettiin esimerkkikohteena erään kaivoksen malmin nostoon suunniteltavaa nostotornia (kuva 32). Nostotorni toteutetaan malmin ja sivukiven nostamiseen kallioon louhittua pystykuilua pitkin maanpinnalle. Samalla kuilua käytetään myös henkilöliikenteeseen. Nostotornin yhteyteen rakennetaan erillinen henkilöstön lastaustila, kaman huoltotila ja tekninen tila. Nostokuilun yläpäästä lähtee myös kaksi kuljetintunnelia. (28.)



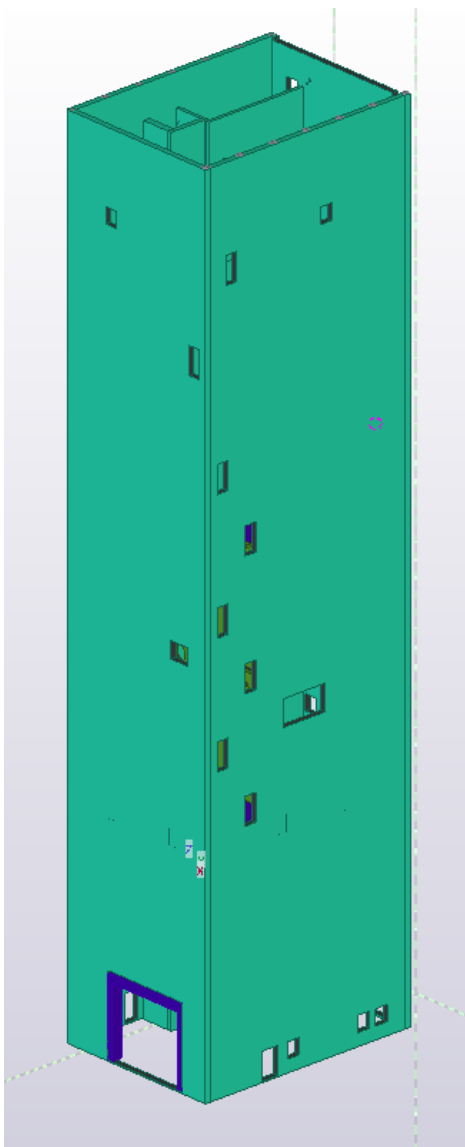
KUVA 32. 3D-malli esimerkkikohteesta (28)

105 metriä korkean nostotornin noin 65 metriä korkeat maanpäällisen osuuden seinät tullaan toteuttamaan liukuvaluna. Nostotornin päämitat ovat 17,9 m x 13,1 m x 103 m (B x L x H). Samassa yhteydessä liukuvaletaan myös tornin hissi- ja porraskuilun seinät. Liukuvalurakenteisiin liittyviä, liukuvalun jälkeen valettavia paikallavalurakenteita ovat välipohjapalkistot- ja laatat sekä seinät. (28.)

Opinnäytetyön yhdeksi vaatimukseksi asetettiin liukuvalurakenteiden suunnittelu ja mallintaminen osana suunnitteluryhmää. Opinnäytetyöhön tiivistettyä liukuvalutekniikan teoriaa ja suunnitteluohjeen sisältöä pystyttiin hyödyntämään tämän kohteen rakennesuunnittelussa.

## 8.1 Liukuvalutekniikan valinta

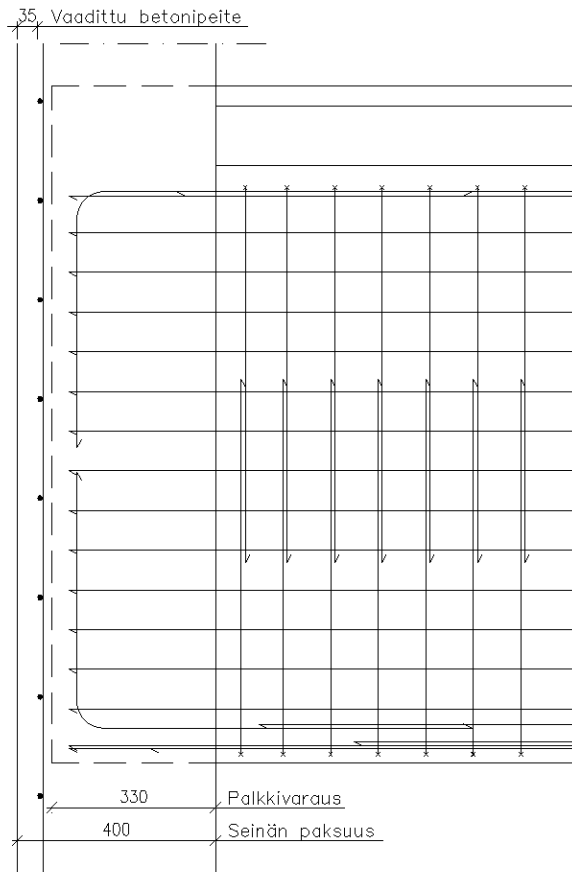
Nostotornin maanalainen osuus on noin 30 metriä ja se tehdään tavallisena paikallavalurakenteena, missä seinän paksuus vaihtelee 1 500 mm:stä 400 mm:iin. Maanpinnan yläpuolisen noin 65 metriä korkean osuuden toteutusmenetelmäksi valittiin liukuvalu, mikä todettiin nopeaksi ja kustannustehokkaaksi toteutustavaksi ottaen huomioon tekniikan käytölle asetut vaatimukset. Tässä tapauksessa, kun seinät ovat poikkileikkaukseltaan vakiot, voidaan käyttää kiinteää liukuvalumuottia. Näin ollen rakenteen korkeuden suhteen kannattavuusrajana on 25 metriä, joka ylittyy huomattavasti. (28.)



*KUVA 33. Nostotornin liukuvalutekniikalla valettavat teräsbetoniseinät (28)*



Liukuvaluseinän paksuus on 400 mm, joka määräytyy lujuusteknisten sekä liit-  
tyvien paikallavalurakenteiden tukipinta- ja rauditusvaatimusten perusteella  
(kuva 34). Seinän paksuus ylittää myös eurokoodin mukaisen vähimmäispak-  
suuden 150 mm.



*KUVA 34. Seinän vahvuuden määrittämisessä huomioon otettavaa (28)*

## 8.2 Suunnitteluperusteet

Liukuvalurakenteiden suunnittelussa noudatettiin samoja normeja ja standardeja kuin muissakin paikalla valetuissa betonirakenteissa. Muotti- ja valutekniikka aiheuttivat kuitenkin erityisvaatimuksia, jotka huomioitiin liukuvalurakenteen suunnitteluvaiheessa.

Työmaalla valmistettaville betonirakenteiden toteutukselle asetetaan vaatimukset vaativuuden mukaan, jotka on jaettu kolmeen luokkaan. Näitä ovat luokat 1, 2 ja 3, joista luokka 3 on vaativin. Toteutusluokka valitaan seuraamusluokan sekä rakenteen käyttöön ja toteutukseen liittyvien riskitekijöiden perusteella.

Nostotornin kantavat rakenteet kuuluvat tässä tapauksessa seuraamuluokkaan CC3, jonka seurauksena toteutusluokan täytyy olla vaativin eli luokka 3.

Rakenteellisia toleranssiluokkia on kaksi. Toleranssiluokka 1 vastaa normaalitoleranssia, eli tähän luokkaan kuuluvien rakenteiden mittapoikkeamat saavutetaan normaaleilla työsuorituksilla ja tarkastuksilla. Taulukossa 2 on normien mukainen tässä projektissa käytetty taulukko, jossa on esitetty kyseiselle nostotornille ja muille rakennuksille määritetyt toleranssi- ja toteutusluokat eurokoodin mukaisesti.

TAULUKKO 2. Toleranssi- ja toteutusluokan määrytyminen (28)

Rakennus	Seuraamuluokka	Toleranssiluokka	Toteutusluokka
Nostotornin kantavat ja jäykistävät rakenteet	CC3	1	3
Nostotornin sekundääriset rakenteet	CC2	1	2
Sivurakennukset, henkilöstönlataus	CC2	1	2
Maanalaiset tunnelit	CC2	1	2

Liukuvaluseinille kohdistuvien ympäristön aiheuttamien rasitusten pohjalta on tehty rasitusluokittelu standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti. Sen perusteella liukuvaluseinien osalta rasitusluokat ovat

- XC4, joka tarkoittaa rakenteeseen kohdistuvaa jaksollista kastumista ja kuivumista. Betonipinta on kosketuksissa veden kanssa, mutta ei kuulu rasitusluokkaan XC2.
- XF1, joka tarkoittaa sateelle ja jäätymiselle altistuvaa pystysuoraa betonipintaa.

Betonin valintaperusteet ovat samat liukuvalubetonirakenteelle kuin paikallavaletuille betonirakenteille yleensäkin. Betonilaadun määrittämisessä ajatellen liukuvalurakenteita on erityisen tärkeää, että sillä saavutetaan kohtuullinen hydrataa-

tio ja betoni kovettuu riittävällä nopeudella. Hydraation kehittymiseen voidaan vaikuttaa myös mahdollisella lämmityksellä tai jäähdytyksellä. Betonin lujuusluokka määräytyy rasitusluokan ja rakenteeseen kohdistuvien kuormitusten perusteella. Joissain tapauksissa lujuusluokan valintaan voi vaikuttaa myös esimerkiksi valutekniset asiat. (25, s. 50.) Betonin lujuusluokkana käytetään liukuvaluissa vähintään C30/37 betonia. Liukuvaluseinien betonin lujuusluokka tässä tapauksessa on C35/45.

### **8.3 Nostotornin raudoituksen suunnittelu**

Esimerkkikohteen liukuvaluseinien raudoituksen suunnittelu sisällytettiin opinnäytetyöhön ja itse suunnitteluprojektiin. Rakenteen lujuuslaskelmien mukaan tarvittava pääraudoitus oli pystyteräksille T20 k200 sekä T16 k200, joista suurempi teräskoko T20 sijoittuu +5.400 tason alapuoliselle osuudelle, koska sinne kohdistuvat suuremmat kuormitukset. Vaakateräksset ovat T12 k200.

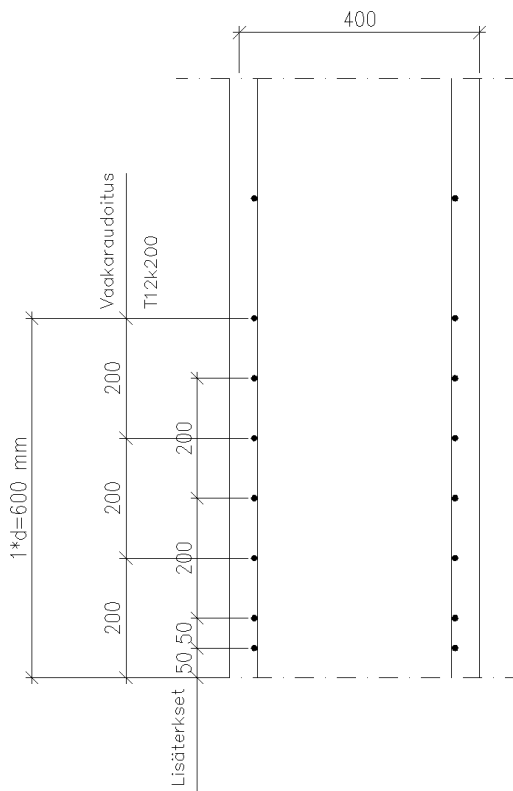
Liukuvaluseinien raudoitussuunnitelma tehtiin normien ja eurokoodien mukaan huomioiden liukuvalutekniikan asettamat erityisvaatimukset valu- ja muottitekniikan osalta. Pääraudoitus päätettiin toteuttaa työteknisistä syistä siten, että joka toinen teräs jatketaan samassa poikkileikkauksessa, josta löytyy periaatekuva tämän opinnäytetyön kohdasta 6.1 raudoituksen suunnittelu. Seinien pääraudoituksen lähtökohtana on pysty- ja vaakaraudoitus seinien sisä- ja ulkopinnoissa, nurkkahaat, tarvittavat tartunnat perustuksille sekä liittyville rakenteille ja vaakaterästen sidontahaat.

Ensimmäinen huomioitava asia oli se, että terästen pituudet eivät voi olla muotti- ja valuteknisten syiden vuoksi mitä tahansa, vaan niillä on omat rajoitteensa. Tornissa on yhteensä neljä ulkoseinää, joiden leveydet ovat 17 100 mm ja 13 100 mm. Seinän pituuden ollessa yli 4 000 mm voivat vaakateräksset olla maksimipituudeltaan 0,5 x seinän pituus, joten pidemmän seinän vaakaterästen maksimipituus on näin ollen 8 550 mm ja lyhyemmän seinän vaakaterästen maksimipituus on 6 550 mm.

Huomioitaessa terästen tarvittavat jatkospituudet tulee yhden koko pitkän teräksen sijasta useita erimittaisia teräksiä ja jatkoksia. Vaakateräksset on sijoitettu pystyterästen ulkopuolelle RIL 119 antaman ohjeistuksen mukaisesti ja 35

mm:n päähän betonin pinnasta. Vaakateräksiä ei voida liukuvalussa edes asentaa pystyterästen sisäpuolelle muottiteknisistä syistä ja ulkopinnassa ne myös tukevat pystyteräksiä nurjahtamiselta.

Liukuvaluseinän aloituskohtaan suunniteltiin vaakaraudoituksen tihennys samoilla periaatteilla, kuin työsaumojenkin kohdalla (kuva 35). Vaakateräksiä lisättiin pystysuunnassa  $1,5 \cdot d$  mittaiselle matkalle, jossa  $d$  on seinän paksuus 400 mm. Lisäteräkset sijoitettiin siten, että kaksi ensimmäistä terästä ovat betonin alapinnasta 50 mm:n jaolla ja siitä seuraavat 200 mm:n jaolla asettuen päävaakaterästen väleihin.

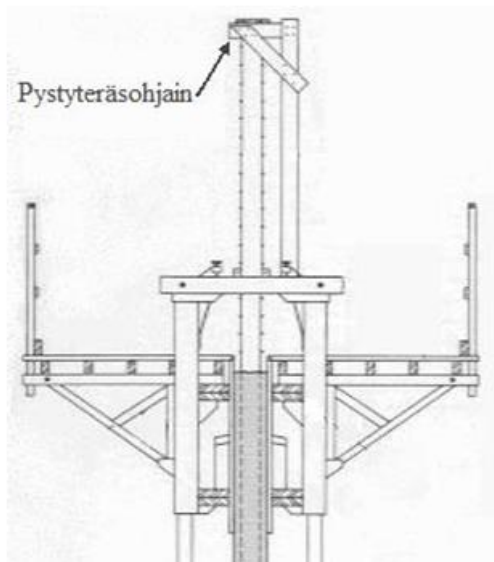


**KUVA 35. Lisäteräkset liukuvaluseinän alaosassa (28)**

Pystyteräsohjain (kuva 36) pitää pystyteräksiä paikoillaan, jotta teräs ei pääsisi heilumaan. Terästen liike valun aikana voi huonontaa betonin ja teräksen välistä tartuntaa. Terästen maksimipituus on kuusi metriä, koska pystyterästä jää vielä tässäkin tapauksessa ohjurin jälkeen 2 - 3 metriä näkyviin. Jos teräkset olisivat vielä tätäkin pidempiä, terästen yläpäässä ei olisi enää riittävästi tuentaa, mikä

aiheuttaisi terästen heilumista ja mahdollisesti solmuun menemistä. Lisäksi pitkien terästen käsittely on liukuvalutyössä vaikeaa.

Esimerkkikohteessa pystyteräksillä käytetty maksimipituus on edellä mainituista syistä 6 000 mm. Seinän ja ala- ja yläpinnantuntumassa osa teräksistä jää tätä lyhyemmiksi, koska jokaista terästä ei jatketa, eli teräkset porrastetaan.



KUVA 36. Pystyteräsohjain (4, s. 150)

Terästen jatkospituudet määritettiin, kuten tavallisille paikallavaletuille betonirakenteille SFS-EN 1992-1-1 mukaan. Jatkospituuden määrittämisessä tuli huomioida teräksen paksuus, betonilaatu sekä betonin ja teräksen väliset tartuntaolosuhteet.

Eurokoodin mukaan liukuvaletuissa rakenneosissa olevilla tangoilla ei oleteta vallitsevan hyvät tartuntaolosuhteet, joten  $\eta_1 = 0,7$ . Tästä seurasi jatkospituuden määrittämisessä huomioitava asia eli liukuvalurakenteissa käytettiin normien mukaan määritetyn ankkurointipituustaulukon (taulukko 3) tartuntatilan 2 mukaisia ankkurointipituuksia. Terästen tartuntaolosuhteita kuvataan kertoimella  $\eta_1$ , joka on 1,0 silloin, kun tangoille saavutetaan hyvät tartuntaolosuhteet. Tällöin käytettäisiin tartuntatilan 1 mukaisia pituuksia.

### TAULUKKO 3. Ankkurointipituustaulukko (28)

Ankkurointipituus:

PYÖRISTETÄÄN SEURAAVAAN SUUREMPAAN TASALUKUUN 50 TAI 100mm

mm	C25/30		C30/37		C32/40		C35/45		C40/50	
	TART. I	TART. II	TART. I	TART. II	TART. I	TART. II	TART. I	TART. II	TART. I	TART. II
8	322	460	286	409	274	392	258	368	236	337
10	403	575	358	511	343	489	322	460	295	421
12	483	690	429	613	411	587	386	552	353	505
16	644	920	573	818	548	783	515	736	471	673
20	805	1150	716	1022	685	979	644	920	589	842
25	1006	1438	895	1278	857	1224	805	1150	736	1052
32	1288	1840	1145	1636	1096	1566	1031	1472	943	1347

Seuraavaksi laskettiin kyseisen standardin kohdan 8.7.3 mukaisesti terästen jatkospituus (kuva 37).  $\alpha_6$ -kertoimena käytettiin kuvan 38 taulukon 8.3 mukaisesti kerrointa 1,4, koska joka toinen teräs jatketaan yhdessä poikkileikkauksessa. Jatkospituudet pyöristetään aina seuraavaan suurempaan tasalukuun 50 - 100 mm:n välein, kuten tässäkin tapauksessa. Vaakaterästen jatkospituudeksi saatiin Ø12 harjaterästangolle 800 mm, pystyterästen Ø20 tangolle 1 300 mm ja Ø16 tangolle 1 050 mm.

#### 8.7.3 Limityspituus

(1) Jatkospituuden mitoitusarvo on

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rd} \geq l_{0,min} \quad (8.10)$$

missä

$l_{b,rd}$  lasketaan kaavasta (8.3)

$$l_{0,min} \geq \max \{0,3 \alpha_6 l_{b,rd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\} \quad (8.11)$$

Kertoimien  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  ja  $\alpha_5$  arvot saadaan taulukosta 8.2; laskettaessa kerrointa  $\alpha_3$  käytetään kuitenkin poikittaisraudoituksen poikkileikkauksen vähimmäisarvon  $\Sigma A_{st,min}$  lauseketta  $1,0A_s(\sigma_{sd}/f_{yd})$ , missä  $A_s$  = yhden limijatkettun tangon poikkileikkauksala.

$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$  mutta enintään 1,5 ja vähintään 1,0, missä  $\rho_1$  on sellaisen limijatkettun raudoituksen prosenttiosuus, joka jatketaan etäisyydellä, joka on enintään 0,65  $l_0$  tarkasteltavan jatkoksen keskikohdalta (ks. kuvaa 8.8). Kertoimen  $\alpha_6$  arvoja on taulukossa 8.3.

Taulukko 8.3 Kertoimen  $\alpha_6$  arvoja

Limijattettujen tankojen suhteellinen osuus poikkileikkauksen tankojen kokonaisalasta	< 25 %	33 %	50 %	> 50 %
$\alpha_6$	1	1,15	1,4	1,5

HUOM. Väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti.

Joka neljäs teräs jatketaan

Joka kolmas teräs jatketaan

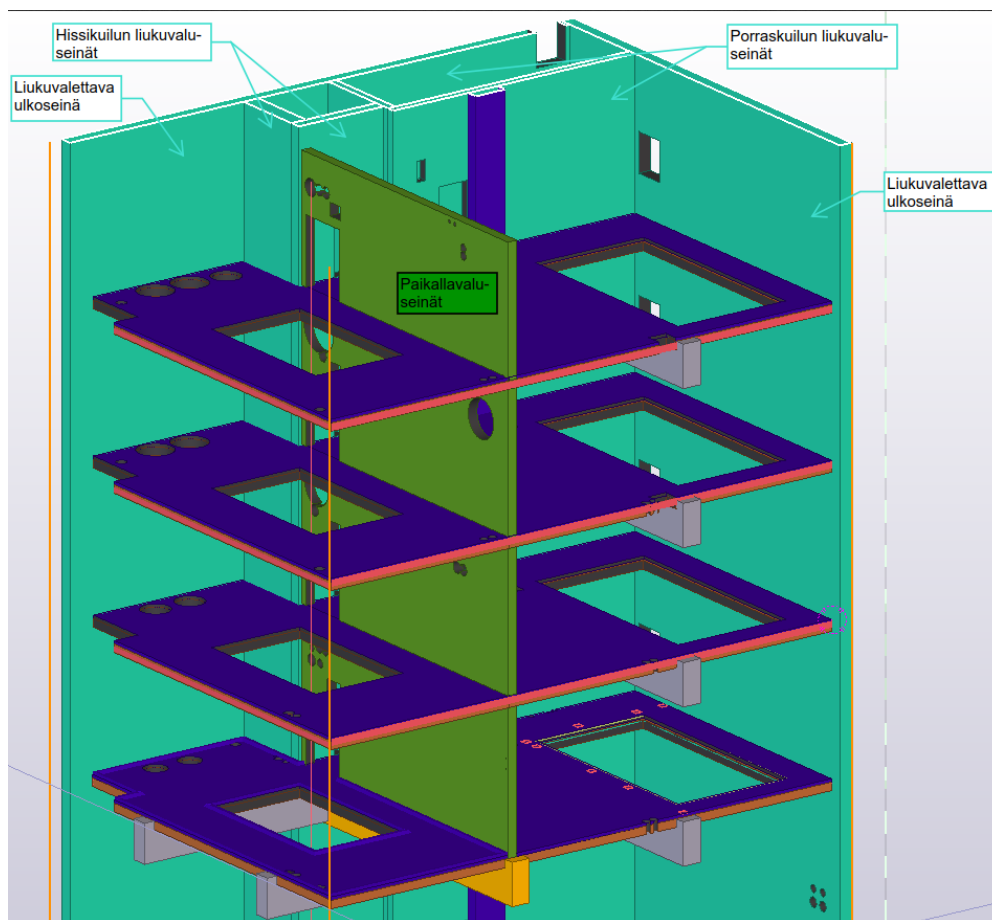
Joka toinen teräs jatketaan

Kaikki jatketaan

### KUVA 37. Jatkospituuden määrittäminen (26, s. 138)

Seinien liittymäkohdissa ja nurkissa on käytetty D-taivutettua hakaterästä Ø12, joiden tehtävänä on nurkkien halkeilun estäminen siirtämällä nurkkaan kohdistuvia rasituksia pääraudoitukselle. Suunnitteluohjeen liitteenä 1 olevista detailjeista DET 6-9 löytyvät seinien liittymäkohtien ja nurkkien raudoitusperiaatteet.

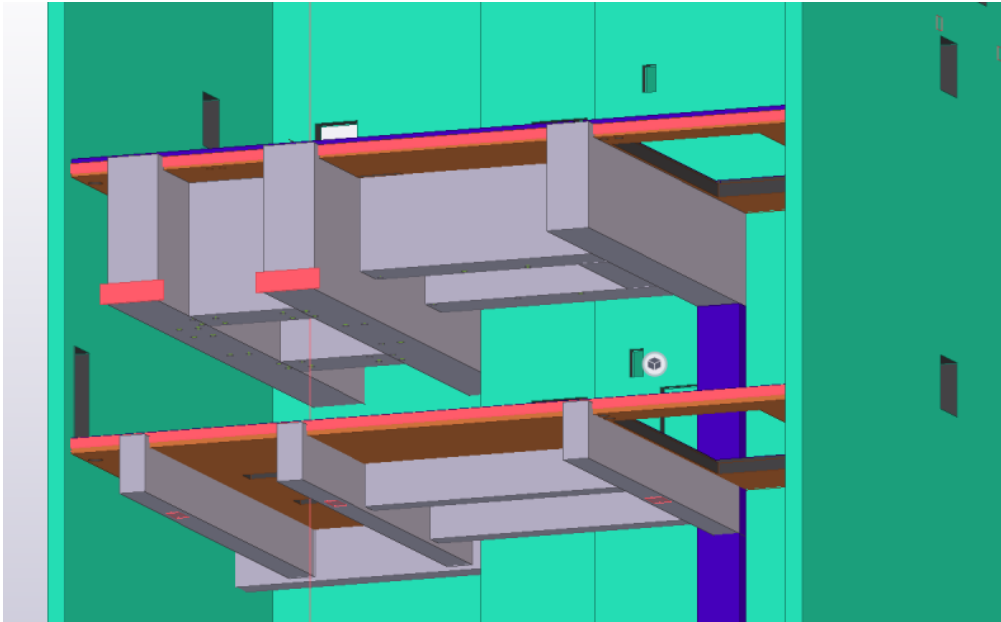
Tartunnat liukuvaseinien alapuolisiin paikallavaluseiniin tulee olla vähintään teräksen jatkospituuden verran. Liukuvalun jälkeen valettavien paikallavaluseinien (kuva 38) ja liukuvaluseinien välinen liitos on esitetty suunnitteluohjeen liitteenä 1 olevassa detailjissa DET 16, jonka mukaan liitos on suunniteltu toteutettavaksi käyttäen Peikon työsaumaraudoitteita TSA 12–50-205.



KUVA 38. Nostotornin seinät sisältä päin (28)

Työsaumaraudoitteet kiinnitetään hitsaamalla pääteräksiin, jotta ne pysyvät paikoillaan betonin sitoutumisajan. Työsaumaraudoitteiden tartunnat ovat taivutettuina varaukseen liukuvalun ajan, minkä jälkeen ne avataan paikallavaluseinää varten.

Nostotornissa on seitsemän 250 mm paksua laattaa ja yksi 1 000 mm:n paksuinen välipohjalaatta ja niitä tukevat palkistot (kuva 39). Niihin on suunniteltu liuvaluseinien ja laattojen väliset liitokset, joista löytyy detaljit suunnitteluohjeen liitteestä 1.



*KUVA 39. Tasoja tukevia palkistoja (28)*

DET 3 sisältää ulkoseinien ja 250 mm paksujen välipohjalaattojen liitokset, jotka toteutetaan pääterästen suuntaan TSA 12–150–205 työsaumaraudoitteilla ja jakoterästen suuntaan TSA 12–150–145. 1 000 mm paksun laatan liitos ulkoseiniin suunniteltiin siten, että käytetään kaksinkertaista työsaumaraudoitetta suunnitteluohjeen liitteenä 1 olevien DET 12 ja 13 mukaisesti.

Tyyppi detaljeissa on esitetty myös raudoitusratkaisut ovien pieliin ja yläreunaan DET 17 ja 18, aukkojen ylä- ja alareunaan DET 14 ja 15 sekä välipohjapalkkien liittyminen ulkoseiniin DET 20.

Vaakaterästen sidontaa varten tarkasteltiin kierrehakojen mitoituksen mahdollinen tarve SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti. Kyseisen eurokoodin kohdassa 9.6.4 todetaan, että seinän kummassakin pinnassa olevan pystyraudoituksen kokonaisalan tulisi ylittää arvo  $0,02 \cdot A_c$ , jotta poikittaisraudoitusta tarvitsisi mitoittaa.



Eurokoodin mukaisen tarkastelun jälkeen tultiin lopputulokseen, että esimerkki-kohteen tapauksessa tämä arvo ei ylity, joten s-siteitä voidaan käyttää eurokoodin mukainen vähimmäismäärä 4 kpl:ta seinän nelimetriä kohti.

#### **8.4 Aukot ja paikalliset vahvistukset**

Aukot liukuvalettaviin seiniin pyrittiin suunnittelemaan siten, ettei aukkoja ja varauksia olisi kovin laajalla alueella päällekkäin, koska se vaikuttaisi jo ratkaisevasti rakenteen kestävyyskykyyn. Aukkoja ei tulisi sijoittaa kovin lähelle seinän reunaan, koska reunaan jäävään betonikaistaleeseen aiheutuu siihen kohdistuvien kuormien vuoksi nurjahdusriski.

Tässä projektissa on ollut tapauksia, joissa jouduttiin toteamaan laskelmien avulla, että reunaan jäävä betonikaistale on riittävä ottamaan vastaan siihen kohdistuvat kuormitukset. Mikäli näihin kohtiin tarvitaan paikallista vahvistusta, ne voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttäen paikallavalettavia tukipilareita- tai palkkeja.

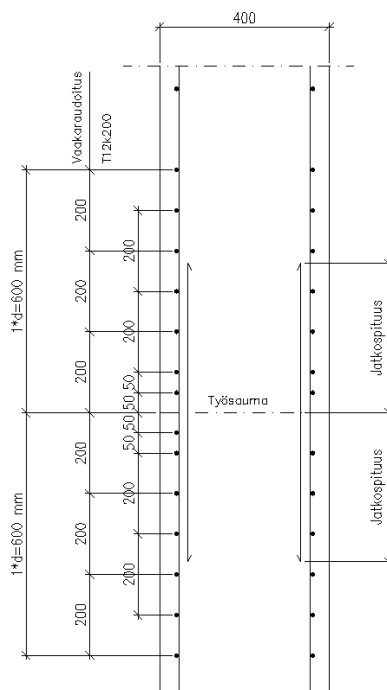
Esimerkkikohteessa suurten oviaukkojen pieliä on jouduttu vahvistamaan pilareiden ja palkkien avulla. Nämä tullaan valamaan paikallavaluna jälkeenpäin, koska niitä ei voida toteuttaa työteknisistä syistä liukuvalun kanssa samanaikaisesti. Jälkivalettavien pilareiden ja palkkien tartunnat liukuvaluseinään suunniteltiin toteutettavaksi työsaumaraudoitteilla. Tämä on Suomessa yleisesti käytetty ja helppo menetelmä aina, kun niiden kapasiteetti on rakenteeseen kohdistuvat rasitukset huomioiden riittävä.

Kohteen porraskuilun seinän vahvikkeena on pitkällä matkalla betonipilasteri. Suunnitteluohjetta laatiessa saatiin selvitettyä urakoitsijalta, että betonipilasterin valaminen liukuvaluna liukuvalettavien seinien yhteydessä on mahdollista ja työteknisesti suhteellisen helppo toteuttaa. Tämä täytyy vain ilmoittaa liukuvalusuunnitelmissa, jotta urakoitsijan osaa huomioida sen muottisuunnitelmassa.

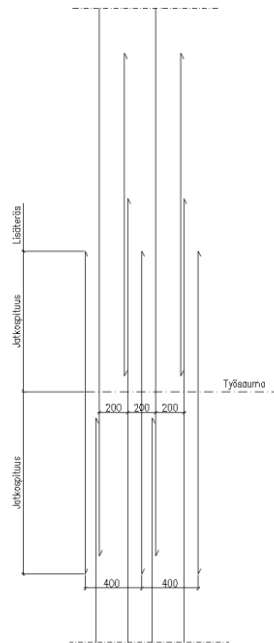
#### **8.5 Työsauma**

Työsauma voidaan mitoittaa tapauskohtaisesti, mikäli tiedetään tarkalleen sauman sijainti. Tässä kohteessa työsaumoille ei ole määrättyjä paikkoja, joten

työsauma suunnitellaan yleisohjeen mukaisesti, jotta se voidaan tehdä mihin rakenteen kohtaan tahansa. Työsauman rauditus (kuva 40) suunniteltiin siten, että vaakateräksiä lisättiin pystysuunnassa 600 mm:n alueelle eli  $1,5 \cdot d$ . Siinä  $d$  on seinän paksuus 400 mm. Lisäteräkset sijoitettiin siten, että kaksi ensimmäistä terästä ovat betonin alapinnasta 50 mm:n jaolla ja siitä seuraavat 200 mm:n jaolla asettuen päävaakaterästen väleihin. Lisäksi pystyteräksiä lisättiin työsaumaan 50 % (kuva 41) eli tässä tapauksessa lisäteräkset 400 mm:n välein, kun pääteräkset ovat 200 mm:n jaolla. Pystyteräkset on suunniteltu ulottumaan sauman molemmin puolin vähintään terästen jatkospituuden verran.



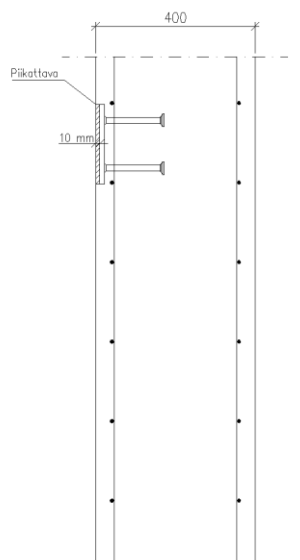
KUVA 40. Työsauman raudoitussuunnitelma (28)



**KUVA 41. Työsauman pystyteräukset (28)**

## 8.6 Kiinnityslevyt

Liukuvaluseiniin tulevien liittyvien rakenteiden tai osien tartuntalevyt suunniteltiin siten, että ne asennetaan 10 mm:n syvyyteen valun pinnasta (kuva 42) ja hitsataan kiinni pääteräksiin, etteivät ne lähde muotin mukaan valun yhteydessä. Tartuntalevyn päälle jäävä ohut betonikerros piikataan auki muotin mentyä ohi.



**KUVA 42. Tartuntalevyn syvyyden mitoitus liukuvaluseinässä (28)**

## 8.7 Raudoituksen 3D-mallintaminen

Liukuvaluseinien raudoituksen mallintamiseen Tekla structures -ohjelmistolla pyrittiin löytämään mahdollisimman yksinkertainen ja nopea tapa. Suunnittelu-työssä täytyy varautua jatkuviin muutoksiin, joten tavoitteena oli myös löytää keino, jonka avulla raudoitusta olisi helppo muokata tarvittaessa.

Työssä käydään läpi vain pääraudoituksen osalta huomioitavia asioita, koska muilta osin ei ilmennyt erityisesti huomioitavia asioita. Mallinnettava pääraudoitus oli rakennesuunnitelmien mukainen, eli jatkettiin joka toinen teräs samassa poikkileikkauksessa, pystyteräksinä tasosta +5.400 ylöspäin Ø16 k200 ja siitä alaspäin Ø20 k200 sekä vaakateräksinä Ø12 k200.

Ensimmäiseksi lähdettiin selvittämään makrojen eli raudoitekomponenttien mahdollista toimivuutta kyseisessä tapauksessa. Makroissa ovat automaattiset oletusasetukset, joita muuttamalla voi itse määrittää tarvittavan raudoituksen yksityiskohtaisesti. Makrojen käyttö olisi sikäli helppoa, että kerran määritetyt asetukset saadaan tallennettua ja haluttu raudoitus lisättyä klikkaamalla aina uudestaan rakenteeseen. Lisäksi makron voi avata uudelleen ja asetuksia muuttamalla raudoitus muuttuu automaattisesti uusien asetusten mukaiseksi.

Useiden kokeilujen jälkeen jouduttiin toteamaan, että Mesh bars -makro on ainoa työkalu, jolla voisi olla edellytyksiä tähän. Mesh bars -makron asetuksiin saadaan määritettyä koko pääraudoituksen ominaisuudet kumpaankin rakenteen pintaan erikseen. Lisäksi siinä on työkalu (splicing), jonka avulla pystyy antamaan teräksille maksimi- ja jatkospituudet sekä määrittämään montako terästä halutaan jatkettavan samassa poikkileikkauksessa.

Ongelmaksi muodostui terästen jatkoksien mallintaminen, koska pystyteräksen koko vaihtuu tason +5.400 jälkeen. Kyseiseen makroon ole mahdollista määrittää samalla seinän pinnalla oleville teräksille kuin yksi koko ja jatkospituus, kun tässä tapauksessa tarve olisi kahdelle eri teräskoolle ja jatkospituudelle pystysuuntaisella matkalla.

Seuraavaksi kokeiltiin vielä seinän mallintamista kahdessa eri osassa ja lisäämällä seinän alaosaan pystyraudoitus Ø20 k200 ja yläosaan Ø16 k200, mutta

tällöin seinän osien liitoskohtaan ei saatu toteutettua jatkoksia toivotulla tavalla. Tällä työkalulla raudoituksen mallintaminen onnistuu, mikäli rakenteen pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset teräkset eivät muutu rakenteen sisällä.

Teklasta löytyy myös automatic splicing -työkalu, jonka tarkoituksena olisi tehdä 3D-malliin automaattisesti siihen määritetyt jatkokset tietylle teräskoolle. Tämä työkalu toimii kuitenkin täysin samalla periaatteella, kuin Mesh bars -makron splicing-osoio. Tämänkään avulla jatkoksia ei saatu toteutettua tässä tapauksessa.

Muut vaihtoehdot läpikäytyä ainoaksi vaihtoehdoksi jäi raudoituksen mallintaminen perinteisellä tyylillä rebar-työkalua käyttäen. Tällä työkalulla itse raudoittaminen on työläämpää makroihin verrattuna ja raudoitukseen myöhemmin tulevien mahdollisten muutosten muokkaaminen vie aikaa.

Rebar-työkalun etuna on se, että raudat saadaan mallinnettua ryhmittäin juuri tietyn mittaiseksi ja haluttuun kohtaan, joten pystymatkalla muuttuvien jatkosten toteuttaminen onnistuu. Raudoituksen tekoa voi hieman nopeuttaa siten, että mallintaa valmiiksi yhden ryhmän, jossa on täyspitkät teräkset ja kopio raudat siitä ylöspäin.

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia liukuvalurakenteiden suunnitteluohje Pöyryn rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Ohje auttaa yritystä kehittämään liukuvalurakenteiden suunnittelua kustannustehokkaammaksi, koska suunnitteluun tarvittavat tiedot ovat tiivistetysti yhdessä dokumentissa sen sijaan, että tietoa joutuisi etsimään useista eri lähteistä. Tavoitteena oli myös, että suunnittelija osaisi arvioida liukuvalumenetelmän käyttömahdollisuutta opinnäytetyöstä ja suunnitteluohjeesta saadun tiedon perusteella.

Liukuvalusta kertovassa kirjallisuudessa ei ole juurikaan käsitelty aihetta rakennesuunnittelun näkökulmasta, vaan saatavilla oleva tieto painottuu itse tekniikkaan ja työnsuoritukseen. Työssä perehdyttiin liukuvalutekniikkaan, standardeihin ja betoninormeihin perusteellisesti, jotta niistä saatua tietoa voitiin soveltaa rakenteiden suunnitteluun ja suunnitteluohjeen laadintaan. Lisäksi urakoitsijayritys Terramare Oy:n projektipäällikkö Esa Kunnassaaren haastattelun pohjalta saatiin täydennystä ja varmistusta kirjallisuudesta hankittuun tietoon.

Opinnäytetyöhön koottiin liukuvalutekniikan perusteita suunnittelijan käyttöön. Itse suunnitteluohjeessa käsitellään liukuvalutyön ja muottitekniikan erityispiirteitä rakenteiden suunnittelussa. Osa-alueista, jotka eivät poikkea tavallisen betonisen paikallavalurakenteen suunnittelusta, ei lähdetty erittelemään, vaan niissä tapauksissa todettiin, että suunnittelu toteutetaan standardien tai betoninormien mukaisesti.

Ohjeen työstämisen ohessa tehtiin esimerkkikohteen liukuvalurakenteiden suunnittelua, jossa konkretisoituivat liukuvalutekniikan kannalta huomioitavat asiat. Työskentely opinnäytetyön teon aikana liukuvalukohteen suunnittelussa auttoi esittämään suunnitteluohjeessa myös käytännön kautta esiin tulleita ongelmia.

Suunnitteluohjeen teon aikana on työstetty ajatusta liukuvalurakenteiden toteutuseritelmän laatimisesta. Se tullaan toteuttamaan opinnäytetyön jälkeen.

## LÄHTEET

1. Kaista, Pentti – Ekman, Eric – Kässi, Toivo – Kutilainen, Jaakko 1982. Liukuvalutekniikka By 120. Jyväskylä: Suomen betoniyhdistys r.y.
2. Grundström, Rainer 1979. Betonitekniikka RIL 119. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y.
3. Virolainen, Matti 2008. Betonin liukuvalutekniikka. Kandidaatintyö. Helsinki: Aalto-yliopisto, rakenne- ja rakennustuotantotekniikan tutkinto-ohjelma.
4. Ruohomäki, Juhani 1997. Raudoitustyöt By 206. 7.painos. Jyväskylä: Rakennustieto Oy.
5. Autio, Mika 2016. Liukuvalubetoni ja sen toimivuuteen vaikuttavat tekijät. Pro gradu-tutkielma. Helsinki: Helsingin yliopisto, kemian laitos.
6. Kunnassaari, Esa 2018. Projektipäällikkö, Terramare Oy. Puhelinhaastattelu 13.3.2018.
7. Pöyry Finland Oy:n henkilöstö 2018. Pöyry Finland Oy.
8. Wikipedia, vapaa tietosanakirja: Slip forming. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Slip\\_forming](https://en.wikipedia.org/wiki/Slip_forming). Hakupäivä 12.2.2018.
9. Koskinen, Markku 2018. Rakennuttajapäällikkö, Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy. Haastattelu 2.4.2018.
10. Suomen Viljava Oy. 2016. Saatavissa: <https://www.suomenviljava.fi/fi/yhtio/historia/>. Hakupäivä 4.4.2018.
11. Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy 1987. Esite. Esan kirjapaino Oy. Lahti.
12. Lähdetie, Pasi 2017. Suomen Viljavalle lisää varastotilaa. Saatavissa: <http://www.loviisansanommat.net/suomen-viljavalle-lisaa-varastotilaa/>. Hakupäivä 4.4.2018.

13. Salonen, Markku 2015. Äänekosken biotuotetehdas korkeiden piippujen kerhoon. Saatavissa:  
[https://terramare.boskalis.com/fileadmin/user\\_upload/Subsites/Boskalis\\_terr  
amare\\_fi/Documents/Terramare\\_t%C3%A4n%C3%A4%C3%A4n\\_-  
lehdet/TMT\\_lehti\\_02\\_2015\\_WEB.pdf](https://terramare.boskalis.com/fileadmin/user_upload/Subsites/Boskalis_terr<br/>amare_fi/Documents/Terramare_t%C3%A4n%C3%A4%C3%A4n_-<br/>lehdet/TMT_lehti_02_2015_WEB.pdf). Hakupäivä 12.2.2018.
14. Twitter, yhteisö- ja mikroblogipalvelu. 2015. Biotuotetehdas. Saatavissa:  
<https://twitter.com/biotuotetehdas/status/654612304525434880>. Hakupäivä 12.2.2018.
15. Twitter, yhteisö- ja mikroblogipalvelu. 2015. Biotuotetehdas. Saatavissa:  
<https://twitter.com/biotuotetehdas/status/629631768233160705>. Hakupäivä 21.2.2018.
16. Ranta, Aki 2015. Erkylän linkkitorni on nyt historiaa. Saatavissa:  
<https://www.akiranta.com/www.akiranta.com/188>. Hakupäivä 12.2.2018.
17. Wikipedia, vapaa tietosanakirja: Mäntytorni. Saatavissa:  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/M%C3%A4ntytorni>. Hakupäivä 12.2.2018.
18. Wikipedia, vapaa tietosanakirja: Puijon torni. Saatavissa:  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Puijon\\_torni](https://fi.wikipedia.org/wiki/Puijon_torni). Hakupäivä 12.2.2018.
19. Pulkkinen, Antti 2011. Näsinneula täyttää 40 vuotta. Saatavissa:  
<https://kuntatekniikka.fi/2011/09/16/nasinneula-tayttaa-40-vuotta/>. Hakupäivä 12.2.2018.
20. Wikipedia, vapaa tietosanakirja: Näsinneula. Saatavissa:  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/N%C3%A4sinneula>. Hakupäivä 21.2.2018.
21. Ahokas, Jorma 1988. Betonointityöt. Helsinki.
22. Betonitekniikan oppikirja By 201. Suomen betoniyhdistys r.y. 1997. Jyväskylä.
23. Betonityöt By 205. Suomen betoniyhdistys r.y. 2000. BY koulutus Oy.



24. Kässä, Toivo 1995. Betonityöohjeet RIL – 149 - 1995. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörienliitto RIL r.y.
25. Ekman, Eric 1981. 1-luokan betonityönjohtaja By 112. Jyväskylä: Suomen betoniyhdistys r.y.
26. SFS-EN 1992-1-1. 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu: Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
27. Peikko group 2013. Saatavissa: <http://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/ts-tyosaumaraudoite/>. Hakupäivä 5.3.2018.
28. Esimerkkikohteen projektitiedot. 2018. Pöyry Finland Oy.
29. Seuraa 120 metrisen piipun nousua reaaliaikaisesti. 2015. Saatavissa: <http://aksa.fi/seuraa-120-metrisen-piipun-nousua-reaaliaikaisesti/>. Hakupäivä 21.2.2018.
30. BY 65 Betoninormit 2016. Suomen betoniyhdistys r.y. 2016. BY- koulutus Oy.